

AUS DEM LEHRSTUHL DER ABTEILUNG  
FÜR ORTHOPÄDIE  
DIREKTOR PROF. DR. MED. DR. H.C. J. GRIFKA  
DER FAKULTÄT FÜR MEDIZIN  
DER UNIVERSITÄT REGENSBURG

**Rekonstruktion einer geraden mechanischen Beinachse  
bei Knie-Totalendoprothesen mittels Pinless-Navigation im Vergleich  
zu einem konventionellen mechanischen Ausrichtinstrumentarium**

Inaugural – Dissertation  
zur  
Erlangung des Doktorgrades  
der Medizin

der  
Fakultät für Medizin  
der Universität Regensburg

vorgelegt von  
Magdalena Anna Helena Barthel

2015



AUS DEM LEHRSTUHL DER ABTEILUNG  
FÜR ORTHOPÄDIE  
DIREKTOR PROF. DR. MED. DR. H.C. J. GRIFKA  
DER FAKULTÄT FÜR MEDIZIN  
DER UNIVERSITÄT REGENSBURG

**Rekonstruktion einer geraden mechanischen Beinachse  
bei Knie-Totalendoprothesen mittels Pinless-Navigation im Vergleich  
zu einem konventionellen mechanischen Ausrichtinstrumentarium**

Inaugural – Dissertation  
zur  
Erlangung des Doktorgrades  
der Medizin

der  
Fakultät für Medizin  
der Universität Regensburg

vorgelegt von  
Magdalena Anna Helena Barthel

2015



Dekan: Prof. Dr. Dr. Torsten E. Reichert

1. Berichterstatter: Prof. Dr. Dr. h.c. Joachim Grifka

2. Berichterstatter: Prof. Dr. Bernd Füchtmeier

Tag der mündlichen Prüfung: 23.11.2015

Für meine Familie

# **Inhaltsverzeichnis**

1	Einleitung.....	1
1.1	Die Anatomie des Kniegelenks .....	1
1.1.1	Bewegungsausmaß .....	2
1.1.2	Beinachsen .....	3
1.2	Die Gonarthrose .....	5
1.2.1	Definition .....	5
1.2.2	Einteilung .....	5
1.2.3	Epidemiologie .....	6
1.2.4	Symptomatik .....	6
1.2.5	Röntgen .....	7
1.3	Therapie .....	10
1.3.1	Nichtpharmakologische Therapie.....	11
1.3.2	Pharmakologische Therapie .....	11
1.3.3	Operative Therapie .....	13
1.4	Die gelenkersetzende operative Therapie .....	14
1.4.1	Die konventionelle Operationsmethode der Kniegelenksendoprothetik .....	14
1.4.2	Navigationsgestützte Operation .....	15
1.5	Spezielle operative Probleme der Knieendoprothetik .....	17
1.6	Zielsetzung der Arbeit.....	18
2	Methodik .....	20
2.1	Studiendesign.....	20
2.2	Patientenkollektiv.....	20
2.3	Präoperative klinische Diagnostik.....	20
2.4	Radiologische Diagnostik .....	21
2.4.1	Präoperative radiologische Diagnostik.....	21
2.4.2	Postoperative radiologische Diagnostik .....	23
2.5	Systembeschreibung .....	25

2.6	Operationsverlauf mit der Pinless-Navigation.....	25
2.7	Postoperatives Management.....	27
2.8	Statistische Auswertung .....	28
3	Ergebnisse.....	29
3.1	Patientengut .....	29
3.1.1	Geschlechterverteilung .....	30
3.1.2	Patientenalter .....	31
3.1.3	Der BMI.....	32
3.1.4	Operationsseite .....	33
3.1.5	Vergleich präoperativer Patientendaten .....	34
3.2	Mechanische Beinachse.....	34
3.2.1	Präoperative mechanische Beinachse.....	34
3.2.2	Postoperative Beinachse .....	36
3.3	Coronare femorale Ausrichtung .....	39
3.3.1	Präoperativer mechanischer distaler coronarer Femurwinkel .....	39
3.3.2	Postoperative coronare femorale Prothesenausrichtung .....	41
3.4	Coronare tibiale Ausrichtung.....	43
3.4.1	Präoperativer mechanischer coronarer tibialer Winkel.....	43
3.4.2	Postoperative coronare tibiale Prothesenausrichtung.....	45
3.5	Korrekturen der femoralen und tibialen Schnittblöcke .....	47
3.6	Operationsdauer.....	49
4	Diskussion .....	50
5	Zusammenfassung .....	57
6	Literaturverzeichnis.....	59
7	Anhang .....	64
7.1	Abkürzungsverzeichnis.....	64
7.2	Abbildungsverzeichnis .....	65
7.3	Tabellenverzeichnis .....	66



# **1 Einleitung**

## **1.1 Die Anatomie des Kniegelenks**

Die Articulatio genus besteht aus drei Knochen (Femur, Tibia und Patella), sechs Gelenkflächen und aus drei Teilgelenken, der medialen und lateralen Articulatio femorotibialis sowie der Articulatio femoropatellaris [40]. Es handelt sich hierbei um ein bikondyläres Gelenk, welches eine tibiofemorale kondyläre Roll-Gleit Bewegung ausführt. Aufgrund des großen Bewegungsumfanges ist die Gelenkkapsel sehr weit. Das Knie stellt das größte Gelenk des menschlichen Körpers dar [59].

Die Articulatio femorotibialis ist der Gelenkanteil zwischen den Kondylen von Femur und Tibia und beinhaltet den C-förmigen medialen Meniskus und den fast kreisförmigen lateralen Meniskus. Beide Menisken dienen hauptsächlich der Vergrößerung der Kontaktfläche des Roll-Gleit Gelenks und vermindern dadurch die Druckbelastung auf die Gelenkflächen [59].

Die Articulatio femoropatellaris liegt zwischen der Patella und dem Femur. Die Patella liegt in der Membrana fibrosa der Gelenkkapsel, ist das größte menschliche Sesambein und wichtig für die Funktion des Musculus quadriceps femoris [59].

Das Kniegelenk besitzt einen komplexen Bandapparat, der aus Außenbändern und Binnenbänder besteht [59].

Die zwei wichtigsten Außenbänder sind das Ligamentum collaterale tibiale und das Ligamentum collaterale fibulare. Das Ligamentum collaterale fibulare verläuft zwischen dem Epicondylus lateralis femoris und dem Caput fibulae. Das Ligamentum collaterale tibiale zieht vom Epicondylus medialis femoris nach distal zum Condylus medialis tibiae. Im Gegensatz zum lateralen Kollateralband ist das mediale Kollateralband mit der Gelenkkapsel und dem Meniskus medialis verwachsen. Aufgrund der geringeren Verschieblichkeit reißt der mediale Meniskus viel häufiger aus als der laterale Meniskus [40].

Die Funktion der beiden Außenbänder besteht in der Stabilisation des Knies zur Vermeidung einer Ab- und Adduktion im Kniegelenk. Dies ist besonders in der Streckstellung von Bedeutung, wobei die beiden Bänder hier in einer gespannten Stellung

sind. Nur im gebeugten Zustand des Kniegelenks ist eine geringe Rotation möglich, da nur der hintere Teil des Ligamentum collaterale mediale angespannt ist [59].

Zu den Binnenbändern gehören die Ligamenta cruciata. Das Ligamentum cruciatum anterius verläuft von der medialen Fläche des lateralen Femurcondylus zur Area intercondylaris anterior. Rechtwinklig dazu verläuft das Ligamentum cruciatum posterius von der lateralen Fläche des medialen Femurcondylus zur Area intercondylaris posterior. Sowohl in Streckung als auch in Beugung des Kniegelenks ist immer ein Teil der Kreuzbänder gespannt. Bei der Innenrotation wickeln sich die Kreuzbänder ineinander und begrenzen damit ebenfalls die Rotation. Somit verbessern die Ligamenta cruciata die Stabilität des Kniegelenkes [59]. Sie sind intraartikulär aber extrasynovial, das bedeutet, sie befinden sich in der Capsula fibrosa, aber außerhalb der Capsula synovialis [48].

### 1.1.1 Bewegungsausmaß

Das Kniegelenk hat als ein bikondyläres Gelenk zwei Hauptachsen mit vier Hauptbewegungen: Streckung, Beugung, Innen- und Außenrotation [40].

Die transversale Hauptachse für Streckung und Beugung geht durch die Gelenkrolle der Femurcondylen. Da es sich um eine Roll-Gleit Bewegung handelt, wandert die Achse während der Beugung nach hinten oben [48].

Die longitudinale Bewegungsachse entspricht idealerweise der Traglinie und geht durch das Tuberculum intercondylare der Tibia [59].

Der Bewegungsumfang wird nach der Neutralnullmethode definiert [48].

Extension – Flexion:  $5^{\circ} - 0^{\circ} - 140^{\circ}$

Außenrotation – Innenrotation (nur in Beugung):  $30^{\circ} - 0^{\circ} - 10^{\circ}$

Die Extension ist bis zur Nullstellung und durch passive Hilfe um  $5-10^{\circ}$  darüber hinaus möglich [48], wobei hierbei die Schlussrotation zu beachten ist. Da die Kreuzbänder schon vor dem Erreichen der  $0^{\circ}$  - Stellung gespannt sind, muss eine Außenrotation der Tibia zum Ende hin erfolgen, um die Kreuzbänder zu entspannen und um somit die Streckung vollenden zu können [40,59].

Die aktive Flexion ist bis zu  $140^{\circ}$  möglich und kann mit passiver Hilfe der Hände um  $20^{\circ}$  erweitert werden [48].

Während der Beugung verliert das Kniegelenk an Stabilität, da sich die Kontaktflächen zwischen Femurkondylen und Tibia mit zunehmender Flexion verkleinern [59].

Bei der Rotation ist die Außenrotation größer als die Innenrotation [48], denn während der Innenrotation wickeln sich die Kreuzbänder ineinander und begrenzen deutlicher den Bewegungsumfang als bei der Außenrotation. Hier hemmen nur die Kollateralbänder die Bewegung [59].

### 1.1.2 Beinachsen

Das Kniegelenk ist anatomisch und funktionell komplex aufgebaut und kann durch verschiedene nachfolgende Parameter näher beschrieben werden (siehe Abbildung 1).

Als anatomische femorale und tibiale Achse wird die Mittelschaftlinie des jeweiligen Knochens definiert [46]. Die anatomische Beinachse verbindet die anatomische femorale Achse mit der anatomischen tibialen Achse. Sie bildet am Übergang von Femur zu Tibia einen physiologischen Winkel von  $5^{\circ}$  bis  $7^{\circ}$  Valgus. Dabei entspricht ein positiver Gradwert einer Valgusstellung, ein negativer einer Varusstellung [47].

Weiterhin wird eine mechanische femorale Achse definiert, die der Linie zwischen dem Hüftkopfmittelpunkt und dem Kniegelenkszentrum entspricht [47]. Die mechanische tibiale Achse verbindet das Zentrum des Kniegelenks mit dem Mittelpunkt des proximalen Talus [46]. Die Verbindung dieser beiden mechanischen Achsen bildet die mechanische Beinachse mit einem Winkel von  $0^{\circ}$  bis  $2,3^{\circ}$  Valgus [47].

Die mechanische Beinachse wird auch Mikulicz-Linie oder Traglinie genannt. Sie verbindet den Hüftkopfmittelpunkt mit der Mitte des oberen Sprunggelenkes [25]. Physiologisch verläuft die Mikulicz-Linie durch die Eminentia intercondylaris. Geht sie jedoch medial davon durch das Kniegelenk, so wird von einer Varusabweichung gesprochen. Liegt sie mehr lateral, so entspricht dies einer Valgusabweichung [29,53].

Der CCD-Winkel (Centrum-Collum-Diaphysenwinkel) ist der Winkel zwischen der anatomischen femoralen Achse und der Achse durch den Schenkelhals. Dieser ist je nach Alter der Person unterschiedlich, beim Erwachsenen liegt er im Durchschnitt zwischen  $120^{\circ}$  und  $140^{\circ}$  [59].

Abhängig vom CCD-Winkel, von der Länge des Schenkelhalses sowie von der Femurschaftform bildet die anatomische mit der mechanischen Femurachse einen physiologischen Winkel von  $5^{\circ}$  -  $9^{\circ}$  [25]. Ist die mechanische Beinachse physiologisch gleich der anatomischen tibialen Achse, dann verläuft sie durch die

Eminentia intercondylaris.

Die Tangente der kaudalen Begrenzung der Femurkondylen entspricht der Kniebasislinie (KBL). Sie bildet mit der Traglinie einen Außenwinkel von  $87^\circ$  und mit der anatomischen Femurachse einen Außenwinkel von  $81^\circ$ . Mit der anatomischen tibialen Achse bildet sie einen Außenwinkel von  $93^\circ$  [25].

Die Dorsalneigung des Tibiaplateaus wird im englischen Sprachgebrauch als „posterior slope“ bezeichnet. Sie hat einen Winkel von durchschnittlich  $4^\circ$  und wird gebildet aus der sagittalen Tangente auf das Tibiakopfplateau und der Senkrechten zur Traglinie [25,47].

Die Whiteside Linie geht durch den tiefsten Punkt der Femurkondyle und dem Zentrum der Femurkondylen [39].

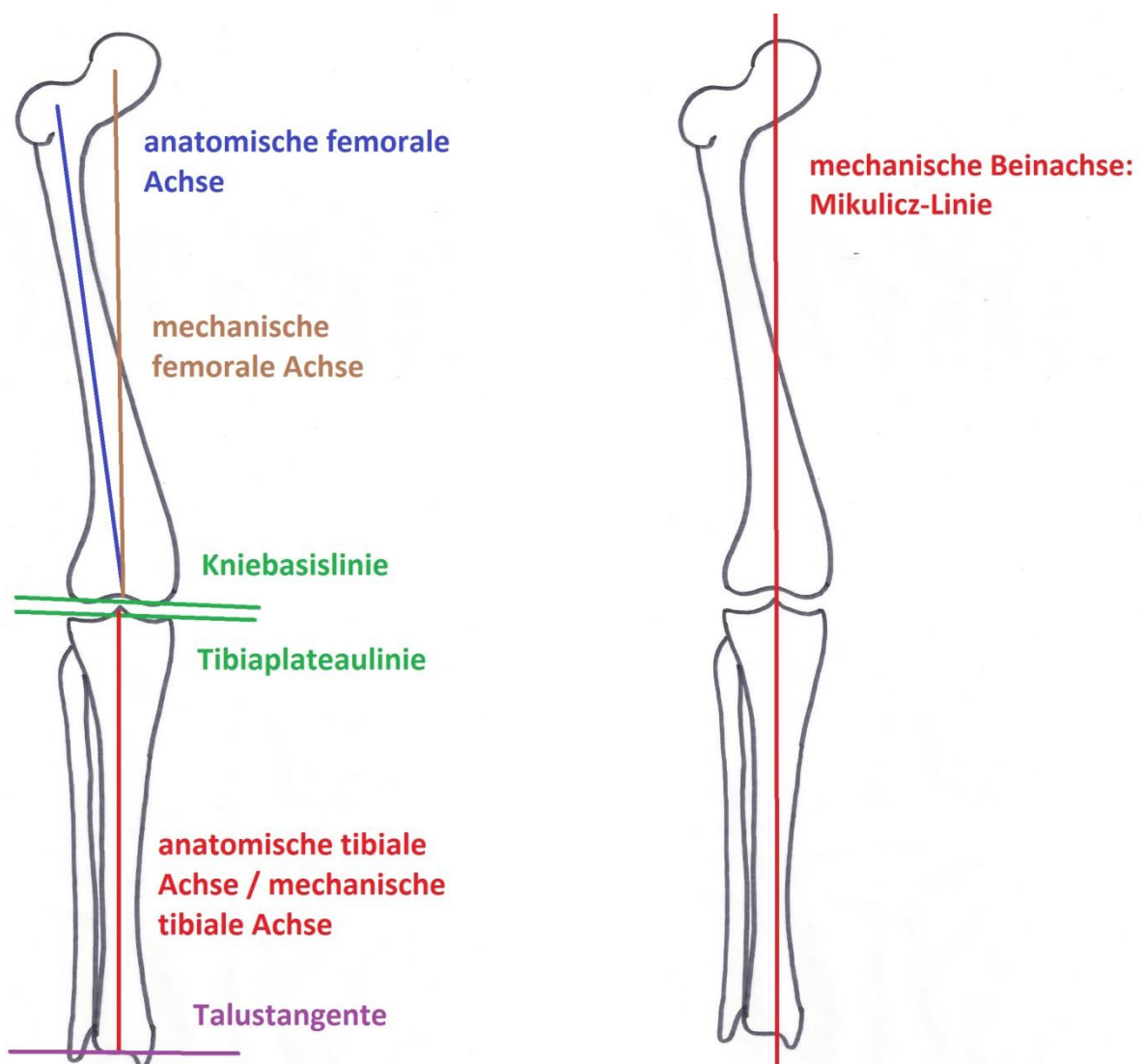


Abbildung 1: Darstellung der Beinachsen in einer schematischen Zeichnung eines Beines

## **1.2 Die Gonarthrose**

### **1.2.1 Definition**

Unter Gonarthrose wird der Knorpeluntergang bei fortschreitender degenerativer Gelenkdestruktion verstanden. Sie entsteht durch ein Missverhältnis zwischen Belastung und Belastbarkeit [61].

### **1.2.2 Einteilung**

Die Gonarthrose wird eingeteilt in eine primäre und in eine sekundäre Form. Die primäre Gonarthrose wird oft als idiopathisch bezeichnet, da die Ursache unbekannt ist. Die sekundäre Gonarthrose hat verschiedene ursächliche Faktoren wie zusätzliche Belastungen des Knies, entzündliche Erkrankungen, Fehlbelastungen, Kollagenosen, Gerinnungsstörungen, metabolische Faktoren oder auch mechanische Traumata [29]. Die Häufigkeit der primären zur sekundären Gonarthrose steht im Verhältnis von  $\frac{2}{3}$  zu  $\frac{1}{3}$  [37].

Das Kniegelenk besteht wie oben erwähnt aus mehreren Gelenken, sodass die Gonarthrose in eine unikompartimentelle femoropatellare Arthrose, eine unikompartimentelle femorotibiale Arthrose, eine bikompartimentelle femorotibiale Arthrose und in eine trikompartimentelle patellofemorotibiale Arthrose eingeteilt werden kann [53].

Die unikompartimentelle femoropatellare Arthrose entsteht meist durch chronische Fehlbelastung bzw. ist sie Folge von Traumata. Der hierdurch verursachte erhöhte Verschleiß des Knorpels der Patella führt dann zur Entwicklung der femoropatellaren Arthrose [53].

Die unikompartimentelle femorotibiale Arthrose entsteht bei Genu varum im medialen Bereich, bei Genu valgum im lateralen Bereich des femorotibialen Gelenks. Die Überbelastung des jeweiligen Kompartiments ist ursächlich für die Entwicklung der femorotibialen Gonarthrose [15].

Bei der bikompartimentellen femorotibialen Arthrose sind die medialen und die lateralen Kompartimente des femorotibialen Gelenks betroffen. Bei der trikompartimentellen patellofemorotibialen Arthrose oder auch Pangonarthrose sind alle Kompartimente, sowohl das femorotibiale als auch das femoropatellare Gelenk betroffen [21].

### **1.2.3 Epidemiologie**

Mit zunehmendem Lebensalter nimmt die Häufigkeit der Arthrose der großen Gelenke der unteren Extremität zu. Besonders ab dem 60. Lebensalter wird die Coxarthrose häufiger beobachtet als die Gonarthrose [37]. Die Gonarthrose manifestiert sich im Durchschnitt in einem Alter von 66,3 Jahren, wobei der Anteil der Männer bei 27,2 % liegt. Frauen haben im Gegensatz zu den Männern ein vierfach erhöhtes Risiko, eine Gonarthrose nach dem 60. Lebensalter zu entwickeln [30]. Der Anstieg der Inzidenz der Gonarthrose bei den Frauen ist vor allem nach dem 50. Lebensalter zu beobachten und steht im Zusammenhang mit der hormonellen Umstellung nach der Menopause [63]. 10% der über 60-jährigen Bevölkerung hat eine Gonarthrose [16]. Häufiger als die Coxarthrose manifestiert sich die Gonarthrose oft im Rahmen einer generalisierten Arthroseerkrankung. Stoffwechselerkrankungen wie Hypercholesterinämie, Hyperurikämie und Diabetes mellitus spielen hier außerdem eine Rolle. Obgleich Übergewicht keinen ursächlichen Zusammenhang mit der generalisierten Arthrose hat, korreliert es jedoch trotzdem positiv mit der Entstehung der Gonarthrose [30].

### **1.2.4 Symptomatik**

Die Gonarthrose kann im Hinblick auf die klinische Symptomatik in eine latente Arthrose, die jahrelang trotz bestehender radiologischer Veränderungen symptomlos sein kann, und in eine aktivierte Arthrose mit akuten Beschwerden unterteilt werden [42,61].

Während die sekundäre Gonarthrose schnell fortschreitend verläuft, zeigt die primäre Gonarthrose typischerweise eine langsame Progredienz [53].

Die initiale Symptomatik der Gonarthrose besteht im Belastungsschmerz, der häufig von einer Schwellung und Ergussbildung nach übermäßiger Belastung begleitet ist [53]. Die Schonung des Gelenkes geht daher auch in der Regel mit einer Reduktion der Gehstrecke einher [42]. Dies hat negative Effekte sowohl auf das Kniegelenk im Sinne der Entwicklung einer Muskelinaktivitätsatrophie als auch in Bezug auf das soziale Leben und die Lebensqualität des Patienten [37].

Mit fortschreitender Erkrankung entwickelt sich der Belastungsschmerz zu einem Ruhe- und Nachtschmerz. Dabei kann zwischen Schmerzen durch passive Bewegung, die durch intraartikuläre Läsionen ausgelöst werden und Schmerzen bei aktiver Bewegung, die durch Veränderungen in der Muskulatur, der Kapsel und den Sehnen verursacht werden,

differenziert werden [53].

Spätestens wenn es zu muskulären Verspannungen, Mikrofrakturen, Nervenirritationen und zu einer Überbelastung des Bandapparats kommt, sollte ein Patient-Arzt-Kontakt stattfinden, um die Beschwerden zu mildern.

### **1.2.5 Röntgen**

Die Röntgendiagnostik stellt auch heute noch das führende bildgebende Verfahren in der Diagnostik der Gonarthrose dar [53]. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Beschwerden des Patienten nicht immer mit den Veränderungen des Röntgenbildes korrelieren. Denn oft hat der Patient im Frühstadium der Erkrankung aufgrund einer bestehenden Synovialitis sehr starke Schmerzen, wobei in dieser Phase oft nur geringe radiologische Zeichen der Gonarthrose zu erkennen sind [21,53]. Im Spätstadium der Gonarthrose finden sich oft deutliche fortgeschrittene radiologische Veränderungen des Kniegelenkes, obwohl die klinischen Beschwerden unter Umständen oft nur relativ gering ausgeprägt sind [53].

Die bekannteste Beschreibung und Einteilung der Gonarthrose wurde von Kellgren und Lawrence bereits 1978 erstellt und berücksichtigt folgende Kriterien [35] (siehe Tabelle 1):

- Osteophytenbildung
- periartikuläre Ossikel
- Gelenkspaltverschmälerung
- Pseudozysten
- veränderte Knochenform

**Einteilung der Gonarthrose nach Kellgren und Lawrence:**

Grad	Beschreibung
Grad 0	Keine Arthrosezeichen
Grad 1	Initiale Osteophyten
Grad 2	Osteophyten fragliche Gelenkspaltverschmälerung leichte Sklerose
Grad 3	Ausgeprägte Osteophyten Definitive Gelenkspaltverschmälerung Deutliche Sklerose
Grad 4	Ausgeprägte Osteophyten Ausgeprägte Gelenkspaltverschmälerung Deutliche Sklerose Definitive Deformität der knöchernen Konturen

*Tabelle 1: Einteilung der Gonarthrose nach Kellgren und Lawrence in Anlehnung an den Artikel von Fraitzl [29]*

Die Gonarthrose sollte jedoch nicht nur im Hinblick auf die Summe der verschiedenen Charakteristika betrachtet werden, sondern es sollte die Beurteilung der einzelnen Merkmale im Vordergrund stehen. Nur so kann eine individuelle Therapieentscheidung getroffen werden, um das beste klinische Ergebnis für den Patienten zu erzielen [19].

Atlanten mit den radiologischen Kriterien der Gonarthrose stehen heute für eine gute vergleichende Diagnostik zur Verfügung [5].

Durch unterschiedliche radiologische Aufnahmetechniken in verschiedenen Ebenen kann das Kniegelenk in seiner Gesamtheit beurteilt werden. Im Rahmen der Diagnostik der Gonarthrose werden Röntgenbilder heute standardmäßig als Ganzbeinstandaufnahme von anterior–posterior (a.p.), als seitliche Aufnahme des Kniegelenkes und als Patella-Défilé-Aufnahme in 30° Kniebeugung erstellt (siehe Abbildung 2) [29,53].



## Einleitung



Abbildung 2: Röntgenaufnahme einer Gonarthrose

*Es sind Osteophyten, Gelenkspaltverschmälerungen und Sklerosezeichen zu erkennen.*

Die Ganzbeinaufnahme in der a.p. Projektion dient insbesondere der Bestimmung der Beinachse (Mikulicz-Linie) zur Erkennung einer Valgus- und Varusfehlstellung [29,53].

Je nach Fragestellung und Beschwerdebild des Patienten müssen zusätzliche Röntgenaufnahmen erstellt werden. Zur Beurteilung der Knorpelsituation am Kniegelenk [53] und zur Beurteilung der Weite des Gelenkspaltes [58] dient insbesondere die a.p.-Aufnahme im Stand bei 20° Beugung.

Bei retropatellarer Problematik werden Patella-Defillé-Aufnahmen in 30°, 60° und 90° Stellung angefertigt [29,53]. Bei speziellen Fragestellung können noch zusätzliche bildgebende Verfahren (Sonographie, Computertomographie, Kernspintomographie) zur Anwendung kommen [29,58].

### **1.3 Therapie**

Laut dem Stufenschema der Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie orientiert sich die Therapie an mehreren Kriterien wie Schmerz, Ausmaß der Arthrose (Röntgen), Therapieresistenz konservativer Maßnahmen, Alter des Patienten, Deformität, Bewegungsausmaß, Leidensdruck und Begleiterkrankungen [3].

Es gibt laut Leitlinien 4 Stufen der Behandlung [3]:

Stufe 1: Bei der ersten Stufe erfolgt im Allgemeinen eine ambulante Behandlung. Der Patient erfährt durch Beratung, Physiotherapie und Knieschule, wie er körperliche Aktivitäten im Alltag an seine Erkrankung anpassen kann. Orthopädische Hilfsmittel können hierbei eine Hilfe sein, um dem Patienten einen besseren Umgang mit seiner Gonarthrose zu verschaffen. Zusätzliche analgetische und antiphlogistische Medikamente sowie lokale Injektionstherapien dienen der Schmerzreduktion [3].

Stufe 2: Im Rahmen der zweiten Stufe kann sowohl eine ambulante als auch stationäre Therapie erfolgen. Im Prinzip erfolgt die Behandlung nach denselben Methoden wie bei Stufe 1. Ergänzend kommen nun bei der zweiten Stufe arthroskopische Verfahren zum Einsatz [3].

Stufe 3: Die dritte Stufe beinhaltet eine gelenknahe Osteotomie, um ein Fortschreiten der Gonarthrose zu verzögern, wobei die Behandlung stationär erfolgt [3].

Stufe 4: Die letzte Therapiestufe umfasst die gelenkersetzenden Operationen insbesondere mit dem Ziel der Schmerzfreiheit. Auch diese Behandlung erfolgt stationär [3].

Die Leitlinien zeigen, dass die Therapie sowohl aus einer konservativen also auch aus einer operativen Behandlung bestehen kann. Die Therapieentscheidung muss individuell und an den Bedürfnissen des Patienten orientiert getroffen werden, mit dem Ziel, den Leidensdruck des Patienten zu vermindern und seine Lebensqualität zu verbessern [31].

### **1.3.1 Nichtpharmakologische Therapie**

Das primäre Ziel der konservativen Therapie besteht darin, Schmerzen zu lindern, die Bewegungsabläufe zu verbessern sowie die Progredienz der Gonarthrose zu verhindern. Gewichtsreduktion, Muskelaufbautraining, orthopädiotechnische Verfahren sowie u.a. Physiotherapie sind hierbei wichtige Therapiemaßnahmen [29].

Zu den orthopädiotechnischen Maßnahmen zählen gutes Schuhwerk mit weicher Sohle, Schuhe mit Fersenkissen und Pufferabsätzen. Ebenso haben Schuhranderhöhungen einen positiven Effekt bei einer Gonarthrose. Ein Gehstock auf der Gegenseite oder eine Unterarmstütze auf der kranken Seite können hilfreich sein [29,53]. Ein erhöhter Muskeltonus entsteht durch eine Kniegelenksbandage, wodurch eine indirekt stabilisierende Wirkung erzielt wird. Kniegelenksorthesen sind mit Vorsicht zu benutzen, da sie bei falscher Anwendung besonders bei älteren Personen die Gefahr eines Dekubitus mit sich bringen [29].

Durch die Gonarthrose kommt es sekundär durch die Schonhaltung zu einer Muskelatrophie. Dekker et al. konnten zeigen, dass die Muskelschwäche mit der körperlichen Behinderung sowie auch mit Ängstlichkeit, Depression, Müdigkeit und Wut positiv korreliert [22]. Daher sollte durch regelmäßiges Schwimmen (mit Kraulbeinschlag), Radfahren und Aquajogging ein Muskelaufbautraining erfolgen.

Einer Muskelkontraktur wird mit detonisierenden Maßnahmen wie Streichungen, Schüttelungen, Massagen und Dehnungen entgegengewirkt [29].

Zu den physikalischen Maßnahmen gehören Kryotherapie, Wärme, Elektrotherapie und Ultraschall, die über unterschiedliche Effekte analgetisch und antiphlogistisch wirken [38].

### **1.3.2 Pharmakologische Therapie**

Die pharmakologische Therapie der Gonarthrose umfasst verschiedene Gruppen wie NSAR, Steroide, SYSADOA (Symptomatic Slow Acting Drugs in Osteoarthritis) und therapeutische Lokalanästhetika. Die Applikation kann sowohl oral, systemisch als auch perkutan oder intraartikulär erfolgen [53].

Die nichtsteroidalen Antirheumatika machen die größte Gruppe in der Behandlung der Gonarthrose aus. Durch die Hemmung der Cyclooxygenase (COX) und somit der

Hemmung der Prostaglandinsynthese erzielen sie eine analgetische, antiphlogistische und antipyretische Wirkung. Jedoch haben sie ein relativ hohes Nebenwirkungsprofil mit z.B. gastrointestinalen Blutungen, Beeinträchtigung der Nierenfunktion und vieles mehr [53]. Zur ambulanten Behandlung werden häufig Diclofenac und Ibuprofen verwendet, bei dauerhaften Schmerzen wird auf Retardformen (z.B. Diclofenac Retard) zurückgegriffen [50]. Die Therapie mit selektiven COX-2-Hemmern (z.B. Celecoxib) hat nahezu dieselbe Effizienz bei der Therapie der Gonarthrose wie die Therapie mit unselektiven COX-Inhibitoren, bei denen jedoch mit weniger gastrointestinalen Nebenwirkungen zu rechnen ist. Jedoch dürfen auch das kardiovaskuläre Risiko und die Wechselwirkungen mit anderen Medikamenten bei den COX-2-Hemmern wie auch bei den unselektiven NSAR nicht vergessen werden [26,50].

Bei der Verwendung eines Nicht-Opioid-Analgetikums wie Paracetamol muss auf die hepatischen Nebenwirkungen geachtet werden. Paracetamol eignet sich sehr gut als Analgetikum in der Frühphase, in der noch eine geringe entzündliche Komponente vorliegt [29].

Sind NSAR und Paracetamol aufgrund der Nebenwirkungen nicht geeignet, so wird auf Opioide (z.B. Tramadol) zurückgegriffen. Hier muss unter anderem auf das hohe Abhängigkeitspotenzial geachtet werden [29].

Die Corticosteroide sind aufgrund ihrer antiinflammatorischen Wirkung eine wichtige Medikamentengruppe in der pharmakologischen Behandlung der Gonarthrose. Die Steroidtherapie setzt an verschiedenen Glukokortikoid-Rezeptoren im Körper an. Daher sollten die Steroide nicht in systemischer Form verwendet werden, da die Nebenwirkungen hierbei zu groß wären. Eine sinnvolle Steroidanwendung besteht in der intraartikulären Applikation von Kristallsuspensionen zur Behandlung der Synovialitis. Eine Kontraindikation für Steroide ist das bakterielle infizierte Kniegelenk, da unter anderem eine fortschreitende Gelenkinfektion durch die steroidbedingte Symptomreduktion oft zu spät erkannt wird [50].

Zur Analgesierung bei punktförmigen Schmerzen werden Lokalanästhetika verwendet. Ihnen wird sowohl eine direkte Schmerzbekämpfung als auch eine indirekte Wirkung über Reflexmechanismen zugesprochen [53]. Die Analgetikainfiltration kann mit einem

Corticosteroid kombiniert werden, wobei auf die oben aufgeführten Kontraindikationen geachtet werden muss [29,53].

Zu den SYSADOA (Symptomatic Slow Acting Drugs in Osteoarthritis) gehören unter anderem die Hyaluronsäure und das D-Glucosaminsulfat. Der genaue Wirkmechanismus von Hyaluronsäure ist noch nicht ganz geklärt, jedoch soll es die Eigenschaften des Knorpels und der Synovia verbessern [29,42]. Es verringert nach intraartikulärer Applikation die Schmerzsymptomatik und erhöht die Beweglichkeit [23,29,50].

### **1.3.3 Operative Therapie**

Je nach Beschwerden und Krankheitsbild des Patienten können verschiedene Methoden zur Anwendung kommen. Dabei wird zwischen gelenkerhaltenden, gelenksersetzenden und gelenkversteifenden Verfahren unterschieden [61].

Das Débridement stellt eine gelenkerhaltende operative Maßnahme da, die jedoch nur eine palliative Maßnahme darstellt, da die Grunderkrankung nicht geheilt, sondern nur die Symptomatik verbessert wird. Das arthroskopische Débridement beinhaltet sowohl die Gelenkspülung, die Entfernung von freiem Detritus, die partielle Entfernung geschädigter Meniskusanteile, die Synovektomie, die Ablösung von Verklebungen als auch die Abtragung von Osteophyten [60].

Durch die Lavage kommt es nur zu einer kurzzeitigen Verbesserung der Schmerzsymptomatik [24]. Die Knorpelglättung wird in ein oberflächliches Shaving und ein tiefes Shaving unterteilt. Beim oberflächlichen Shaving findet eine Glättung des Knorpels statt. Beim tiefen Shaving wird der defekte Knorpel entfernt und die subchondrale Grenzlamelle aufgebrochen. Hier wird der Defekt mit Stammzellen aufgefüllt, sodass sich neuer Regeneratknorpel bildet. Der Erfolg ist hier jedoch nur von kurzfristiger Dauer [53], zumal es keine Garantie für die Regeneration des Knorpels gibt [60]. Die Auswahl des Patienten für dieses Verfahren erfolgt nach strengen Kriterien [62], da der Erfolg des arthroskopischen Débridement vom Stadium der Gonarthrose abhängt [32]. Das arthroskopische Débridement hat das Ziel, den Schmerz zu reduzieren, ohne jedoch die Grunderkrankung in ihrer Progredienz beeinflussen zu können [60].

Eine andere therapeutische Methode ist die Mosaikplastik, bei der bei einem isolierten kleinflächigen stanzenartigen Knorpeldefekt Knorpel-Knochen-Zylinder vom Innenrand des medialen bzw. vom Außenrand des lateralen Femurkondylus eingesetzt werden [53]. Diese autologe osteochondrale Transplantation führte in verschiedenen Studien zu guten Erfolgen in Bezug auf die Integration des transplantierten Knorpels in den Knochen, den Erhalt des Knorpels sowie eine Verbesserung der Symptomatik aus Sicht des Patienten. Bei Pagonarthrose ist diese Technik jedoch nicht indiziert [18,45].

Des Weiteren gibt es noch die autologe Chondrozytentransplantation, die Periosttransplantation und andere Verfahren. Auf diese wird jedoch in dieser Arbeit nicht näher eingegangen.

Die Osteotomie wird ebenso als gelenkerhaltendes Verfahren betrachtet. Sie versucht, eine Achsenfehlstellung sowohl in der frontalen, sagittalen als auch in der transversalen Ebene auszugleichen. Dies kann subtraktiv (zuklappend) oder additiv (aufklappend) erfolgen. Wichtig ist, dass am Ende der Kniegelenksspalt horizontal verläuft [57]. Eine Valgusgonarthrose wird mit einer subtraktiven suprakondylären femoralen medialen Osteotomie behandelt. Bei der Varusgonarthrose ist eine valgusierende Tibiakopfosteotomie indiziert, die entweder medial additiv oder lateral subtraktiv durchgeführt wird [64].

Als letzte Möglichkeit vor der gelenkversteifenden Methode steht noch das gelenkersetzende Verfahren zur Verfügung.

## **1.4 Die gelenkersetzende operative Therapie**

### **1.4.1 Die konventionelle Operationsmethode der Kniegelenksendoprothetik**

Präoperativ erfolgte eine radiologische Diagnostik mit einer Ganzbeinstandaufnahme, einer Kniegelenksaufnahme a.p. und seitlich sowie einer axialen Patellaaufnahme in 30° Stellung. Mit Hilfe dieser Aufnahmen werden die knöchernen Resektionen geplant und die intramedulläre femorale Ausrichtung mittels der Messung des Winkels zwischen mechanischer und femoraler Achse bestimmt. Hierdurch kann die richtige Achsenkorrektur und auch die passende Prothesengröße ermittelt werden [25].

Grundsätzlich werden zwischen zwei verschiedenen operativen Herangehensweisen unterschieden, die Tibia-first-Methode und die Femur-First-Methode. Zunächst wird die Patella zur Seite luxiert und die hypertrophe Synovialis, Teile des Hoffa'schen Fettkörpers, Osteophyten, die Mensiken sowie das vordere Kreuzband abgetragen. Das hintere Kreuzband kann belassen werden. Bei der Femur-First-Methode kann entweder eine intramedulläre oder eine extramedulläre Ausrichtung erfolgen [55]. Bei der intramedullären intercondylären Ausrichtung wird der Markraum des Femurs oberhalb der Ansatzstelle des hinteren Kreuzbandes eröffnet. Dann wird das intramedulläre Instrumentarium für den distalen Schnittblock entsprechend der präoperativen Planung befestigt und die Resektion durchgeführt [34]. Die Ausrichtung richtet sich nach der dorsalen Kondylenlinie sowie der Whiteside-Linie [55]. Der ventrale und dorsale Schnitt als auch die Schrägschnitte am Femur werden nach entsprechender Rotationsstellung zur dorsalen Condylenlinie, Whiteside-Linie und zur Epicondylären Achse durchgeführt [34].

Für die tibiale Resektion ist entweder eine intramedulläre oder eine extramedulläre Ausrichtung möglich. Bei der extramedullären Ausrichtung wird die Tibiaausrichtlehre parallel zur Tibiavorderkante am distalen Unterschenkel befestigt. Mit Hilfe eines Tibia-Tiefenfühlers wird dann der höchste Punkt des medialen wie lateralen Tibiaplateaus ermittelt, um das entsprechende Ausmaß der Resektion bestimmen zu können [34]. Nach der tibialen Resektion wird der Gelenkspalt medial und lateral in Flexion und in Extension ermittelt. Ein möglichst symmetrischer Gelenkspalt kann mittels Weichteilbalancing oder knöcherner Nachresektion erreicht werden [55].

Durch das Einsetzen der Probeimplantate wird die Stabilität in Streckung und Beugung geprüft. Erst bei zufriedenstellendem Ergebnis wird das entsprechende Originalimplantat eingesetzt [34].

### **1.4.2 Navigationsgestützte Operation**

Die navigationsgestützte Operation ist keine Operationstechnik, bei der ein Roboter den Operateur ersetzt. Es unterstützt vielmehr den Operateur und dient ihm zur Kontrolle einer guten Schnittführung am Knochen.

Es gibt verschiedene Arten der navigationsgestützten Operation, wobei am häufigsten die CT-basierte Navigation und die CT-freie Navigation zur Anwendung kommen.

Als erstes wurde die CT-basierte Navigation entwickelt, wobei hierbei für die präoperative Planung ein CT von Hüfte, Knie und Sprunggelenk angefertigt wird. Das System kann

hierdurch einen Planungsvorschlag für die Operation in Bezug auf Prothesengröße und Implantat-Position erstellen. Der Vorschlag kann danach vom Operateur abgewandelt und an den Patienten angepasst werden. Am Anfang der Operation werden Referenzsterne durch zusätzliche Bohrungen an Femur und Tibia befestigt. Anschließend kann durch kreisende Bewegungen des Beines das Zentrum des Hüftkopfs vom System erfasst werden. Zusätzlich können verschiedene oberflächliche anatomische Strukturen vom System registriert und mit den CT-Daten abgeglichen werden. Die Schnittblöcke werden dann unter Kontrolle des Navigationssystems angebracht und es folgt danach die Resektion [8].

Ein Nachteil der CT-basierten Navigation ist, dass hierfür ein CT notwendig ist und dies mit einer großen Strahlenbelastung verbunden ist. Folglich erfolgte die Weiterentwicklung des navigationsgestützten Verfahrens und es entstand die CT-freie Navigation. Bei dieser CT-freien Navigation wird präoperativ kein CT angefertigt. Am Anfang der Operation werden bei dieser Methode ebenso Referenzsterne durch zusätzliche Bohrungen an Femur und Tibia befestigt. Zusätzlich werden anatomische Landmarken für das System mit Hilfe eines Pointers registriert. Das System erstellt nun nur durch die intraoperativen Daten einen Planungsvorschlag. Nach Anbringen der Schnittblöcke werden diese vom System kontrolliert und es folgt die Resektion. Ein Vorteil der CT-freien Navigation zur CT-basierten Navigation ist, dass das System sowohl den Bewegungsumfang als auch die Bandspannung registriert und somit zu einem möglicherweise besseren Sitz der Endoprothesen führen kann [8]. Bächli et al. konnte zeigen, dass die CT-freie navigierte Operationsmethode zu keinen signifikanten Unterschied der mechanischen Beinachse postoperativ führte als die CT-basierte Operationsmethode [8]. Ein Vorteil der CT-freien Operationsmethode ist das Fehlen der Strahlenbelastung im Gegensatz zur CT-basierten Navigationsmethode.

Nun wurde mit der Zeit ein weiteres Navigationsverfahren entwickelt, die Pinless-navigierte Operationsmethode, ebenso eine Art CT-freie Navigation. Der Unterschied dieses neuen Systems zum bisherigen CT-freien Navigationssystem ist, dass die Referenzsterne direkt am Schnittblock befestigt werden und somit keine weiteren Bohrungen und Traumata durch das Anbringen und Befestigen der Referenzsterne an Femur und Tibia entstehen. Dies reduziert das Risiko der Infektion und der Frakturgefahr und ist ein Vorteil der Pinless-Navigation gegenüber der CT-freien Navigation. Eine Studie von Baier et al. verglich bereits die Pinless-navigierte Operationsmethode mit der CT-freien Navigation [7]. Hierbei ergaben sich keine nennenswerten Unterschiede beim



Vergleich der Resektionsflächen und dem postoperativen radiologischen Ergebnis der Beinachsen. Es zeigte sich lediglich eine verkürzte Operationsdauer mit dem neuen CT-freien Navigationssystem im Vergleich zum CT-freien Navigationssystem. Nachteile der CT-freien Navigationsmethode sind die zusätzlichen Bohrungen an Femur und Tibia für das Anbringen der Referenzsterne, welches zu einem Trauma führt und somit potentiell zu Infektionen oder Frakturen führen kann. Dieses potentielle Risiko gibt es bei der Pinless-Navigation nicht, da die Referenzsterne direkt am Schnittblock angebracht werden. Somit kann dies als Vorteil der neuen Pinless-navigierten Operationsmethode betrachtet werden.

Diese neue Pinless-navigierte Operationsmethode wird nun in dieser Arbeit im klinischen Einsatz getestet. Die genauere Beschreibung dieser neuen Operationsmethode erfolgt später in dieser Arbeit.

### **1.5 Spezielle operative Probleme der Knieendoprothetik**

Bei der Implantation einer Knieendoprothese muss auf verschiedene mögliche Komplikationen und Probleme geachtet werden.

So kann postoperativ der Gelenksspalt für die Flexion zu eng sein, sodass es zu einer eingeschränkten Beugefähigkeit kommt. Ebenso kann der Gelenkspalt für die Extension zu eng sein, welches zu einem Streckdefizit führt. Die ungleichmäßigen Flexions- und Extensionslücken müssen daher durch Releasing, Osteophytenabtragung und jeweiliger Nachresektion am Femur- bzw. Tibiaplateau korrigiert werden [28].

Die Innenrotation der Femur- und der Tibiakomponente kann zu einer übermäßigen Patellalateralisation führen und sollte möglichst vermieden werden [28].

Eine mediolaterale Instabilität ist hauptsächlich durch eine Varus- oder Valgusstellung bedingt [28]. Anhand der radiologischen prä- und postoperativen Diagnostik kann die Beinachse bestimmt werden. Ziel der Knieendoprothesenoperation ist es, eine postoperative neutrale Beinachse mit  $180^\circ \pm 3^\circ$  zu erreichen. Verschiedene Studien haben gezeigt, dass eine neutrale Beinachse innerhalb des Zielbereichs sich positiv auf die Standzeit der Endoprothese auswirkt [13,33]. Eine Abweichung der mechanischen Beinachse führt langfristig zu einer einseitigen Belastung der Prothese und des jeweiligen Knochens. Die Folge ist eine vorzeitige mechanische Lockerung und Instabilität der Endoprothese [49].

Liegt postoperativ eine neutrale mechanische Beinachse bei jedoch gleichzeitig schiefen

tibialen und femoralen Komponenten vor, so kann sich dies im weiteren mit Schmerzen im Kapselapparat äußern [49]. Es sollte daher immer ein Sitz der femoralen und tibialen Komponente in der Frontalebene von  $90^\circ \pm 3^\circ$  angestrebt werden, da dies im allgemeinen zu guten klinischen Langzeitergebnissen führt [36].

### **1.6 Zielsetzung der Arbeit**

Der Kniegelenkersatz hat in unserer Gesellschaft und ihrer demographischen Entwicklung unter verschiedensten Aspekten eine zunehmende Bedeutung gewonnen. Es ist zu erwarten, dass weltweit in naher Zukunft wahrscheinlich mehr als 500.000 Knieendoprothesen pro Jahr implantiert werden. Diese Entwicklung erfordert eine ständige Weiterentwicklung sowohl in Bezug auf die implantierten Materialien als auch die Operationstechniken, um den Patientenerwartungen gerecht zu werden. Mittlerweile haben heute implantierte Knieendoprothesen bereits eine 15-Jahres-Standzeit von 90% [4].

Verschiedene Studien haben gezeigt, dass in Bezug auf eine lange Standzeit der Endoprothese die Achsenausrichtung eine entscheidende Rolle spielt. Dies verdeutlichen u.a. Jeffery et al. in ihrer Studie mit 115 Patienten. In der Studie wurden 68 Endoprothesen mit Zielbereich  $\pm 3^\circ$  in Bezug auf eine neutrale mechanische Beinachse implantiert, 47 Endoprothesen lagen außerhalb des Zielbereiches (sogenannte Ausreißer). Es kam bei 24% der Ausreißer zu einer frühzeitigen Lockerung der Prothese, jedoch nur bei 3% der Endoprothesen, die im Zielbereich lagen [33]. Diese Tatsache verdeutlicht die Notwendigkeit der Implantation der Knieendoprothese innerhalb des Zielbereiches.

Ob nun die konventionelle Operationstechnik oder die navigierte Operationstechnik die bessere Methode ist, um ein optimales Langzeitergebnis zu erzielen, muss noch geklärt werden. Verschiedene Studien zeigen ein deutlich besseres Erreichen der neutralen Ausrichtung für die mechanische Beinachse bei der navigierten Operationsmethode [9,56]. So zeigten Rosenberger et al. in ihrer Studie, dass bei der navigierten Operationstechnik signifikant mehr Endoprothesen sich innerhalb des Zielbereiches  $\pm 3^\circ$  befanden als beim konventionellen Operationsverfahren [56].

In dieser prospektiven Arbeit wird bei 80 randomisierten Patienten eine Knieendoprothese entweder mit der konventionellen Operationsmethode oder mit der Pinless-navigierten Operationsmethode implantiert. Ziel ist es, dieses neue Pinless-navigierte

## Einleitung

Operationsverfahren im klinischen Einsatz zu testen, wobei die beiden genannten Operationsverfahren miteinander verglichen werden. Postoperativ werden hierzu die Ergebnisse der Pinless-navigierten Gruppe und die der konventionell operierten Gruppe bezüglich der mechanischen Beinachse, der frontalen femoralen Achse, der frontalen tibialen Achse, der Anzahl der intraoperativen Korrekturen der Schnittblöcke sowie der Operationsdauer vergleichend analysiert.

Vergangene Studien zeigten bereits, dass die Pinless-Navigation genauso wie die traditionelle CT-freie Navigation zu einer besseren neutralen Achsenausrichtung der postoperativen mechanischen Beinachse führte als das konventionelle Knieendoprothesen Operationsverfahren. Vorteil der Pinless-Navigation ist, dass keine zusätzlichen Bohrungen für die Befestigung der Referenzsterne wie bei der traditionellen CT-freien Navigation erforderlich sind, sodass das Risiko einer Infektion oder Fraktur hierdurch reduziert wird [7].

Bei der Pinless-Navigation ist die Operationsdauer kürzer als bei der bisher üblichen Ct-freien Navigation. Ansonsten erfordert das navigierte Operationsverfahren jedoch eine längere Operationsdauer als das konventionelle Operationsverfahren.

Hauptziel dieser Studie ist es, bei der Implantation von Knieendoprothesen das Operationsverfahren der Pinless-Navigation mit dem konventionellen Operationsverfahren im klinischen Einsatz zu erproben,

## **2 Methodik**

### **2.1 Studiendesign**

In dieser prospektiven randomisierten Studie werden 80 Patienten erfasst, bei denen im Zeitraum vom Oktober 2012 bis zum Juni 2014 eine bikondyläre Knie-Totalendoprothese in der Abteilung der Orthopädie im Asklepios Klinikum Bad Abbach implantiert wurde. Präoperativ wurden die Patienten einer Fallgruppe und einer Kontrollgruppe randomisiert zugeteilt.

Die Patienten der Kontrollgruppe erhielten eine Totalendoprothese mittels mechanischer Ausrichtung der Schnittblöcke, die Patienten der Fallgruppe erhielten eine Totalendoprothese mittels Pinless-navigierter Ausrichtung der Schneidföhrung.

### **2.2 Patientenkollektiv**

Im Rahmen dieser Studie wurden Patienten beiden Geschlechtes mit primärer und sekundären Arthrose des Kniegelenks ab 18 Jahren eingeschlossen, die mit einer bikondylären Totalendoprothese des Kniegelenks in der orthopädischen Abteilung des Asklepios Klinikum Bad Abbach operativ versorgt werden sollten.

Einschlusskriterium für diese Studie war eine primäre oder sekundäre Pangenarthrose.

Ausschlusskriterien waren eine schwere sekundäre Arthrose, Tumorerkrankungen oder Frakturen, die Ablehnung des Probanden sowie ein Zustand nach einem knöchernen Eingriff der unteren Extremität, z.B. Umstellungsosteotomie.

### **2.3 Präoperative klinische Diagnostik**

Bei jedem Patienten wurde eine ausführliche Anamnese erhoben. Diese beinhaltete insbesondere eine detaillierte Schmerzanamnese, wobei hier zwischen absoluter Schmerzfreiheit, leichten oder gelegentlichen Schmerzen, mäßigen Schmerzen und heftigen Schmerzen unterschieden wurde. Weiterhin wurde die Gehstrecke des Patienten anamnestisch ermittelt und der Patient speziell nach Problemen beim Treppensteigen befragt. Voroperationen und andere Erkrankungen wurden erhoben, wobei hier insbesondere Wert auf die Frage nach Erkrankungen aus dem rheumatischen

Formenkreis, Diabetes, Allergie und Gerinnungsstörungen gelegt wurde. Die Anamnese beinhaltete unter anderem die Medikamentenanamnese. Größe und Gewicht wurden ermittelt, um den BMI des Patienten bestimmen zu können.

Nach der Anamneseerhebung erfolgte die klinische Untersuchung des Patienten mit besonderem Augenmerk auf die untere Extremität, wobei hier speziell auf Hautveränderungen, Beinachse, Narben sowie Muskelatrophie geachtet wurde. Es erfolgte weiterhin eine DMS-Kontrolle der Extremität, d.h. die Kontrolle der Durchblutung, der Motorik und Sensibilität des Beines.

Eine präoperative Laborkontrolle beinhaltete ein kleines Blutbild, die Gerinnungsparameter, Elektrolyte, CRP, Leber- und Nierenwerte. Die Untersuchung des Urins erfolgte zum Ausschluss von Harnwegsinfektionen und anderen Nierenerkrankungen.

Im Rahmen der klinischen Funktionsdiagnostik wurde der Bewegungsumfang des Kniegelenks nach der Neutralnullmethode präoperativ erfasst. Hierbei wurde die Stabilität des Bandapparats nach anterior und posterior getestet und die mediale und laterale Aufklappbarkeit des Kniegelenks geprüft. Auf eventuelle Druckschmerzpunkte am Knie wurde besonders geachtet.

Zur klinischen Untersuchung der unteren Extremität gehörte auch die Untersuchung des Hüftgelenks in Bezug auf Beweglichkeit und Schmerzen.

Zur Bestimmung der Beinachse erfolgte präoperativ eine radiologische Diagnostik, die im nachfolgenden Kapitel beschrieben wird.

## **2.4 Radiologische Diagnostik**

### **2.4.1 Präoperative radiologische Diagnostik**

Im Rahmen der präoperativen radiologischen Diagnostik wurden verschiedene Röntgenaufnahmen der unteren Extremitäten des Patienten durchgeführt. Diese beinhalteten eine skalierte Ganzbeinstandaufnahme und eine a.p.-Aufnahme beidseits im Stehen. Ergänzend erfolgte am operativen Bein eine seitliche Röntgenaufnahme bei 60° gebeugtem Knie und eine tangentielle Patella-Röntgenaufnahme.

Mit Hilfe des Programmes mediCAD® Classic wurden danach digitale Planungsbilder erstellt. Hier konnten anhand der präoperativen skalierten Ganzbeinstandaufnahme die präoperativen Achsenverhältnisse bestimmt werden. Die gleichzeitige Darstellung einer

25 mm große Kugel auf den Röntgenaufnahmen diene als Referenzgröße für die Bestimmung der Größenverhältnisse.

Anhand der digitalen Röntgenbilder erfolgte nun die präoperative Planung.

Dazu wurde das Hüftkopfgelenkszentrum mit Hilfe einer Kreisbogenschablone bestimmt. Danach wurde eine Tangente auf die mediale und laterale Kondyle des Femurs gehängt, um die femorale Kniebasislinie zu ermitteln. Der Mittelpunkt dieser Tangente legte das Zentrum des Kniegelenks fest. Danach wurden zwei Geraden quer zur Femurachse gelegt. Der Mittelpunkt dieser Geraden wurde entsprechend als Schaftmittelpunkt definiert. Die anatomische femorale Beinachse verläuft durch diese beiden Schaftmittelpunkte.

Im nächsten Schritt wurde eine Tangente auf die Kondylen der proximalen Tibia gelegt, wobei der Mittelpunkt zwischen medialen und lateralen Kortex als Zentrum definiert wurde. Ebenso wurde eine Tangente auf den Talus gelegt, um die obere Sprunggelenksbasislinie zu erhalten. Um den Tibiaschaftmittelpunkt zu definieren, wurde analog zur Bestimmung der femoralen Schaftmittelpunkte vorgegangen. Die Verbindungslinie der beiden tibialen Schaftmittelpunkte entsprach der anatomischen tibialen Beinachse.

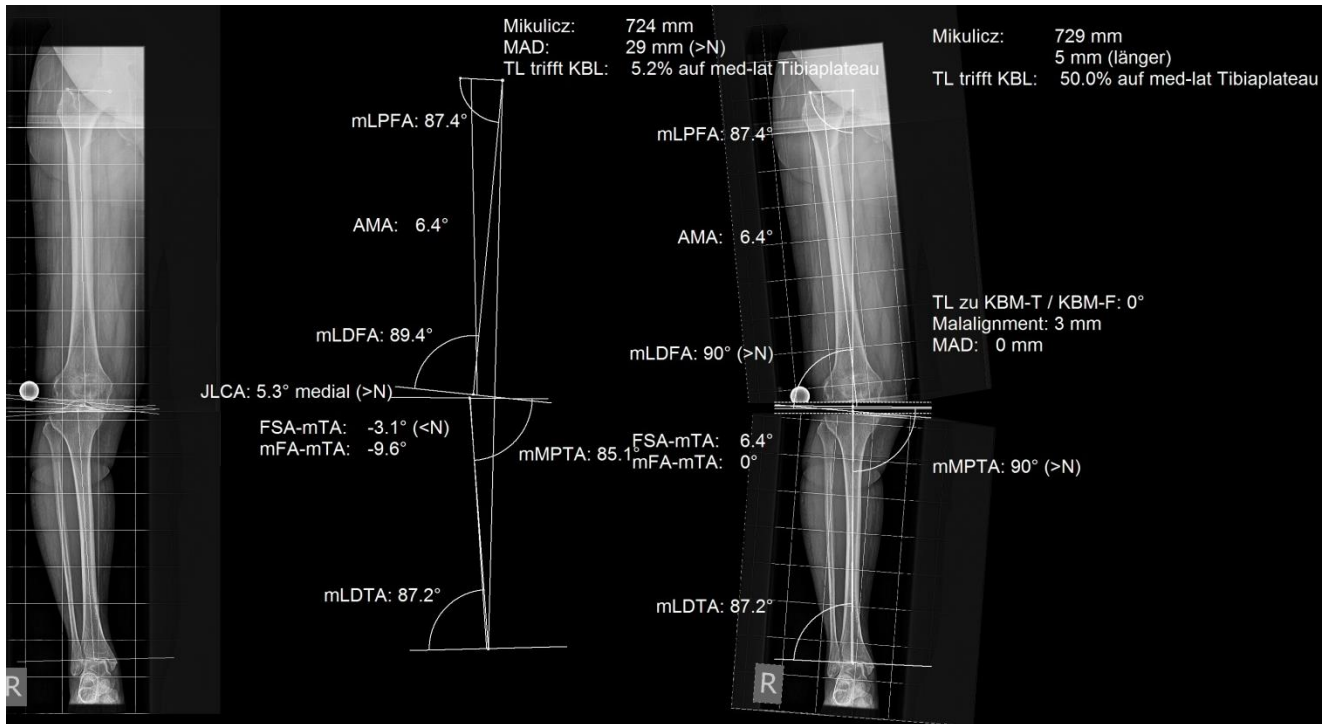
Aus diesen definierten Punkten wurde von mediCAD® die mechanische Femurachse und die mechanische Tibiaachse automatisch ermittelt.

Die mechanische Femurachse verlief hierbei durch den Hüftkopfmittelpunkt und durch das femorale Kniegelenkszentrum.

Die mechanische Tibiaachse war die Gerade durch das tibiale Kniegelenkszentrum und durch den Mittelpunkt des proximalen Talus.

Mittels mediCAD® konnte so ein Röntgenbild mit den verschiedenen Geraden und Winkeln erstellt werden (siehe Abbildung 3).

Im nächsten Schritt konnte mit Hilfe des Programms mediCAD® eine Kniekorrektur geplant werden. Dabei wurden die mechanische Beinachse sowie die Winkel und Achsen in eine neutrale Darstellung gebracht. Individuell konnte diese korrigierte Darstellung vom Operateur noch weiter verändert werden.



**Abbildung 3:** Präoperative Darstellung und Planung der Beinachsenkorrektur mit Hilfe des Programmes mediCAD®

MAD:	Mittlere Achsenabweichung
TL trifft KBL:	Prozentuale Abweichung zwischen Traglinie und Kniebasislinie
mLPFA:	mechanischer lateraler proximaler Femurwinkel
AMA:	Winkel zwischen mechanischer und anatomischer Femurachse
mLDFA:	mechanischer lateraler distaler Femurwinkel
JLCA:	Gelenklinien-Konversionswinkel
FSA-mTA:	Winkel zwischen Femurschaftachse und mechanischer Tibiaachse
mFA-mTA:	Winkel zwischen den mechanischen Achsen von Femur und Tibia
mMPPTA:	mechanischer medialer proximaler Tibiawinkel
mMDTA:	mechanischer lateraler distaler Tibiawinkel

## 2.4.2 Postoperative radiologische Diagnostik

Postoperativ wurden eine skalierte Ganzbeinstandaufnahme, eine Aufnahme a.p. beidseits im Stehen und seitlich, sowie eine tangentielle Patella Röntgenaufnahme bei 60° gebeugtem Knie durchgeführt.

Danach wurden mit Hilfe des Programms mediCAD® wieder die Gelenkszentren und die anatomischen Achsen im Bein ermittelt.

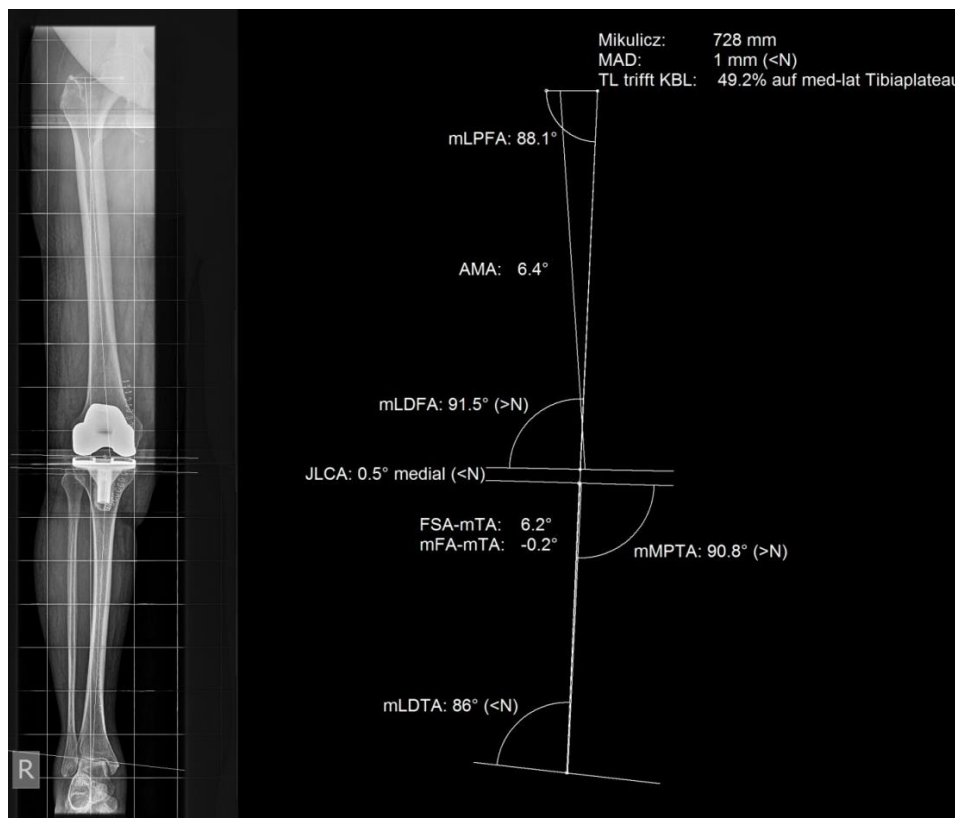
Das Hüftkopfgelenkszentrum wurde wieder mit Hilfe der Kreisbogenschablone bestimmt. Die femorale Kniebasislinie wurde mit einer Tangente auf den Kondylen des femoralen Implantats definiert. Das Zentrum des Kniegelenks war der Mittelpunkt dieser Tangente. Die anatomische femorale Beinachse wurde wie bei der präoperativen radiologischen

Diagnostik bestimmt (siehe Methodik dieser Studie: 2.4.1 Präoperative radiologische Diagnostik).

Im nächsten Schritt wurde die tibiale Kniebasislinie mit Hilfe einer Tangente auf das tibiale Implantat gelegt, der Mittelpunkt dieser Tangenten wurde als Zentrum definiert. Die anatomische tibiale Achse wurde mit Hilfe der Tibiaschaftmittelpunkte ermittelt. Danach wurde eine Tangente auf den Talus gelegt, um die obere Sprunggelenksbasislinie zu erhalten.

Analog zur präoperativen radiologischen Diagnostik erstellte nun das Programm mediCAD® aus den definierten Punkten ein Bild mit den verschiedenen Geraden und Winkel (siehe Abbildung 4).

Die hierdurch gewonnenen Daten (Winkel der verschiedenen Achsen sowie Achsenabweichungen) wurden dann für die statistische Auswertung herangezogen.



**Abbildung 4:** Postoperative radiologische Darstellung der Beinachsen mit Hilfe des Programmes mediCAD®

MAD:	Mittlere Achsenabweichung
TL trifft KBL:	prozentuale Abweichung zwischen Traglinie und Kniebasislinie
mLPFA:	mechanischer lateraler proximaler Femurwinkel
AMA:	Winkel zwischen mechanischer und anatomischer Femurachse
mL DFA:	mechanischer lateraler distaler Femurwinkel
JLCA:	Gelenklinien- Konversionswinkel
FSA-mTA:	Winkel zwischen Femurschaftachse und mechanischer Tibiaachse
mFA-mTA:	Winkel zwischen den mechanischen Achsen von Femur und Tibia
mMPTA:	mechanischer medialer proximaler Tibiawinkel
mLDTA:	mechanischer lateraler distaler Tibiawinkel



## **2.5 Systembeschreibung**

Die Pinless-Navigation wurde von der Firma Brainlab als „Alignment Verification“ in der Version Brainlab Knee 2.6. eingeführt. Die verschiedenen Komponenten des Systems bestehen aus einem Computer mit Touchscreen, einer Kamera, einem Referenzpointer sowie einem Schneidblockadapter für Femur und Tibia.

Das Kamerasystem kann sowohl Infrarot Strahlung aussenden als auch entsprechende Strahlung detektieren. Durch die Kugeln auf dem Referenzpointer und dem Schnittblockadapter wird die Infrarotstrahlung reflektiert und von der Kamera detektiert. Mit Hilfe des Computers können so die Ausrichtung der Schneidblockadapter zur mechanischen tibialen und femoralen Achse erfasst werden.

## **2.6 Operationsverlauf mit der Pinless-Navigation**

Der Patient wurde auf dem OP-Tisch auf dem Rücken gelagert. Danach wurde das Patientenbein mehrmals desinfiziert und mit wasserdichten Tüchern abgedeckt. Eine Manschette zur Blutsperre wurde relativ weit proximal am Oberschenkel angelegt, hierbei wurde ein Manschettendruck von 350 mm Hg angelegt. Diese Blutsperre ermöglichte einen relativ geringen Blutverlust während der Operation, damit einhergehend eine kürzere Operationszeit und ein besseres Ergebnis der Zementierung. Dreißig Minuten präoperativ erhielt der Patient eine Antibiotikaprophylaxe mit Cefazolin i.v..

Nach diesen vorbereitenden Maßnahmen erfolgte ein medianer Hautschnitt gefolgt von einer Arthrotomie. Der Kapselapparat wurde dann nach dorsal frei präpariert, sodass teilweise freie Sicht auf das Kniegelenkinnere gegeben war. Dann wurde der Hoffa'sche Fettkörper subtotal entfernt und die Patella präpariert.

Die Resektionsarthroplastik an der Patella diente unter anderem einem zentralen Patellalauf.

Im Rahmen dieser Studie wurde nach der Femur-first-Methode vorgegangen und ein intramedulläres Ausrichtungssystem für das Femur wurde verwendet. Dieses wurde oberhalb des hinteren Kreuzbandansatzes am Femur in den Markraum eingeführt. Der Schnittblock wurde dann entsprechend der präoperativen individuellen Planung angebracht und der Schneidblockadapter wurde über die Sägeblattführung befestigt (siehe Abbildung 5 A).

Als nächstes mussten die Referenzwerte aufgenommen werden. Um den

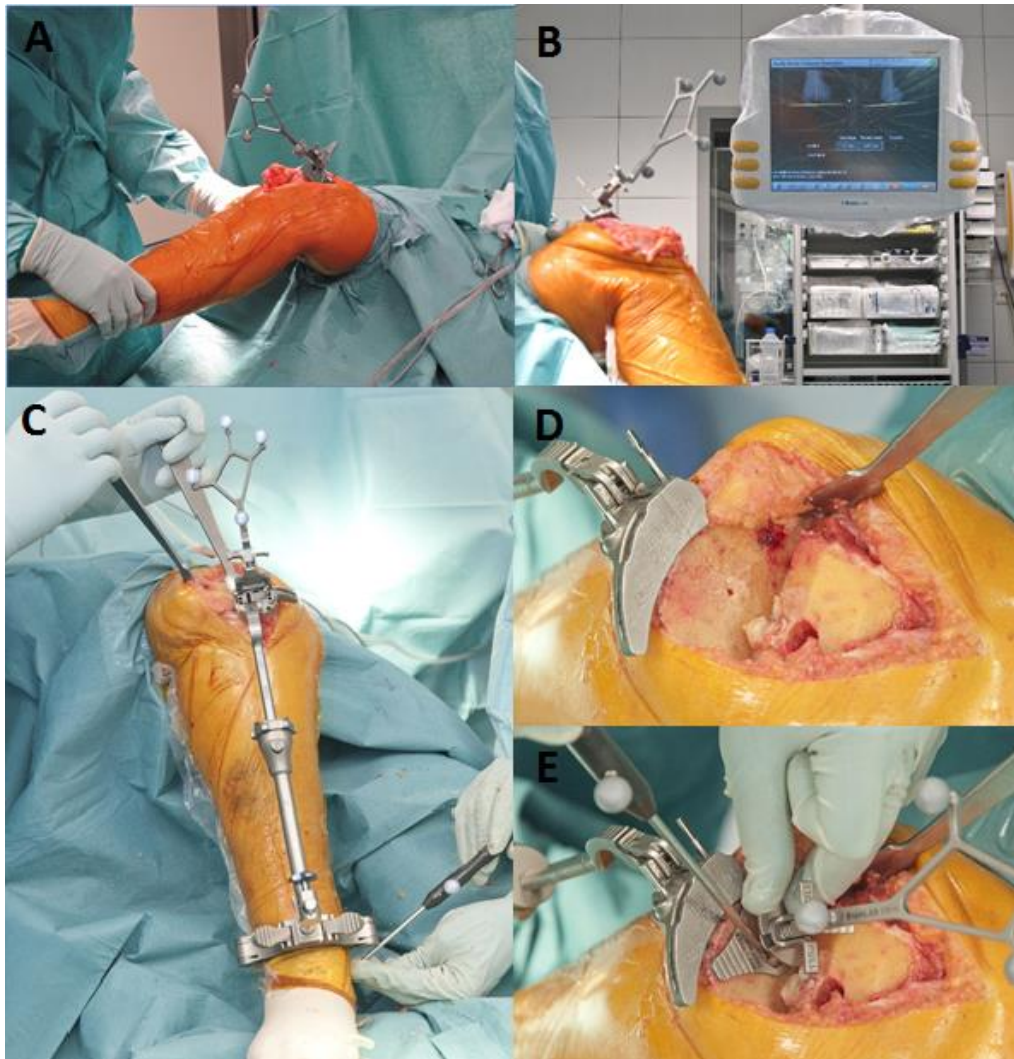
Hüftkopfmittelpunkt zu erhalten, wurde das Bein kreisend bewegt. Durch die Bewegung der Kugel vom Schneidblockadapter im Raum kann der Computer den Hüftkopfmittelpunkt ermitteln. Im nächsten Schritt wurde die femorale mechanische Achse aufgenommen, hierbei wird mit dem Pointer der mechanische distale femorale Eintrittspunkt detektiert und die Whiteside-Line aufgenommen, indem der Pointer auf die anterior-posteriore Achse der Kondylen des Femurs gelegt wurde. Hatte der Computer die Daten aufgenommen, so ermittelte er die Varus- oder Valgusabweichung des Schnittblockes zur mechanischen femoralen Achse (siehe Abbildung 5 B). War diese Abweichung über  $1^\circ$  musste eine Korrektur erfolgen. Hierbei musste der Schnittblock mit dem Schneidblockadapter erneut befestigt werden mit erneuter anschließender Messung der Referenzwerte. Erst wenn der Computer eine Abweichung unter  $1^\circ$  ermittelte, saß der Schnittblock korrekt, sodass dann die Femurresektion mit dem distalen Schnitt, anschließend eine ventrale, dorsale und schräge Resektion des Femurs erfolgen konnten. Das Gelenk wurde dann von den Osteophyten, den Restanteilen der Menisken und von Resten des vorderen Kreuzbandes befreit, das hintere Kreuzband wurde erhalten.

Anschließend erfolgte die tibiale Resektion. Hierbei wurde erst das extramedulläre System entsprechend der präoperativen individuellen Planung befestigt. An den Schnittblock wurde der Schneideblockadapter montiert. Nun mussten die Referenzwerte der Tibia aufgenommen werden. Als erstes wurden der mediale und der laterale Malleolus mit Hilfe des Pointers registriert (siehe Abbildung 5 C). Danach wurde der mechanische proximale tibiale Eintrittspunkt markiert. Die tibiale a.p. Richtung wurde ebenso mit Hilfe des Pointers aufgenommen. Nachdem die Referenzwerte vom Computer erfasst wurden, konnte dieser eine Varus- oder Valgusabweichung des Schnittblockes bzw. den Slope zur mechanischen tibialen Achse ermitteln. War diese Abweichung größer als  $1^\circ$ , so musste der Schnittblock korrigiert werden und die Referenzwerte mussten erneut aufgenommen werden. Erst nach Feststellung einer Abweichung von unter  $1^\circ$  konnte die Resektion der Tibia erfolgen.

Nach erfolgter Resektion wurden mit Hilfe der Referenzsterne die Resektionsflächen nochmal vom System registriert und kontrolliert (siehe Abbildung 5 D, 5 E). Diese intraoperative Kontrolle der Resektionsflächen ist ein großer Vorteil der Pinless-Navigation. Bei unzufriedenem Ergebnis der Resektionsflächen erfolgte eine erneute Einstellung des Schnittblockes und eine erneute Resektion.

Ist der Operateur mit den Resektionsflächen zufrieden, so folgt anschließend die Überprüfung der Bandverhältnisse und je nach Befund wurde ein Weichteilbalancing durchgeführt. Dazu wurde ein Probeinlay eingesetzt und die Bandspannung von  $0^\circ$  bis

100° geprüft. Nach mehrfachem Spülen des Gelenkes erfolgte das Einsetzen des Originalimplantats.



*Abbildung 5: Pinless-navigierte Operation aus der Zeitschrift SICOT [44]*

- A: Der Schneidblockadapter ist am Schnittblock des Femurs befestigt.  
B: Nach der Registrierung der femoralen Landmarken wird am Monitor die intraoperative koronare und sagittale Abweichung des Schnittblocks angezeigt.  
C: Das extramedulläre Instrumentarium mit Schnittblock und Schneidblockadapter ist an der Tibia befestigt. Der mediale Malleolus wird hier mit Hilfe des Pointers registriert.  
D: Registrierung des Plateaus nach erfolgter tibialer Resektion.  
E: Nach der Resektion wird mit Hilfe der Referenzsterne die Resektionsfläche erneut registriert und kontrolliert.*

## **2.7 Postoperatives Management**

Postoperativ befanden sich die Patienten zwischen 7 und 10 Tage in stationärer orthopädischer Behandlung. Durchschnittlich nach 2 Tagen postoperativ wurden die Redon Drainage entfernt bzw. dann, sobald die Drainagen weniger als 200 ml pro Tag

förderten. Am 6. postoperativen Tag erfolgte die postoperative radiologische Diagnostik (siehe Methodik dieser Studie: 2.4.2 Postoperative radiologische Diagnostik).

Die Krankengymnastik begann in der Regel am ersten postoperativen Tag, am Anfang mit Bettübungen wie Aufsitzen an der Bettkante oder Übungen mit dem Knie mit Hilfe einer Bewegungsschiene. Die krankengymnastischen Übungen wurden mit der Zeit kontinuierlich erweitert mit dem Ziel, den Patienten rasch zu mobilisieren. Nach der Entlassung aus der orthopädischen Abteilung erfolgte eine drei- bis vierwöchige stationäre Behandlung in einer Rehabilitationseinrichtung.

Voraussetzung für die Entlassung des Patienten aus der orthopädischen Abteilung waren die folgenden klinischen Kriterien wie eine ausreichende Mobilisation mit Hilfe von Gehstützen und eine Beugung des Kniegelenks von mindestens 90 Grad. Postoperative Komplikationen konnten zu einer Verlängerung des akutmedizinischen stationären Aufenthalts führen.

## **2.8 Statistische Auswertung**

Insgesamt wurden Daten von 40 Patienten mit Pinless-navigierten implantierten Knieendoprothesen mit einer Kontrollgruppe von 40 Patienten mit konventionell implantierten Endoprothesen verglichen.

Zur statistischen Auswertung wurden die Daten in das Programm IBM SPSS Statistics 21.0.0.1. übernommen. Es wurden Häufigkeiten, Mittelwerte, Standardabweichung und Spannweite der einzelnen Werte ermittelt.

Mit Hilfe des t-Tests für unabhängige Variablen wurden die Mittelwerte der entsprechenden Ergebnisse verglichen, z.B. der BMI. Die Voraussetzung für den t-Test bestand, dass die beiden Stichproben intervallskaliert, normalverteilt, varianzhomogen und unabhängig sein mussten.

Diese Studie erfüllte nicht alle Voraussetzungen für den Chi-Quadrat-Test (erwartete Häufigkeit pro Feld  $\geq 5$ ) weswegen auf die Alternative des exakten Fisher-Tests zurückgegriffen wurde. Der exakte Fisher-Test diente für den Vergleich von Häufigkeiten eines Ergebnisses von 2 unabhängigen Gruppen, z.B. der Vergleich der Ausreißer in der Fallgruppe und in der Kontrollgruppe.

Für beide Testverfahren wurde in dieser Studie das Signifikanzniveau auf  $p < 0,05$  festgesetzt.

### **3 Ergebnisse**

#### **3.1 Patientengut**

Alle in die Studie eingeschlossenen Patienten konnten planmäßig aus der akutmedizinischen stationären Behandlung entlassen werden. Alle Patienten waren nach 5 Wochen insoweit mobilisierbar, dass eine Flexion des Knies  $> 90^\circ$  möglich war. Nur eine Patientin aus der Pinless-Gruppe musste sich wegen einer Wundheilungsstörung einer Revision unterziehen. Die Patientin war stark adipös, hatte eine rheumatoide Arthritis, sodass die erforderliche Revision am ehesten als Komplikation im Rahmen der Begleiterkrankungen zu sehen ist.

### 3.1.1 Geschlechterverteilung

Das Patientenkollektiv der Studie umfasste 80 Patienten. Darunter waren 53 Frauen (66%) und 27 Männer (34%).

In der Fallgruppe waren 40 Patienten, wobei der Frauenanteil 70% ( $n = 28$ ) und der Männeranteil 30% ( $n = 12$ ) betrug.

In der Kontrollgruppe wurden 40 Patienten behandelt, 25 Frauen (62,5%) und 15 Männer (37,5%).

Mit Hilfe des exakten Fisher-Tests konnte gezeigt werden, dass die beiden Gruppen homogen verteilt sind und sich nicht signifikant unterscheiden ( $p = 0,637$ ) (siehe Tabelle 2 und Abbildung 6).

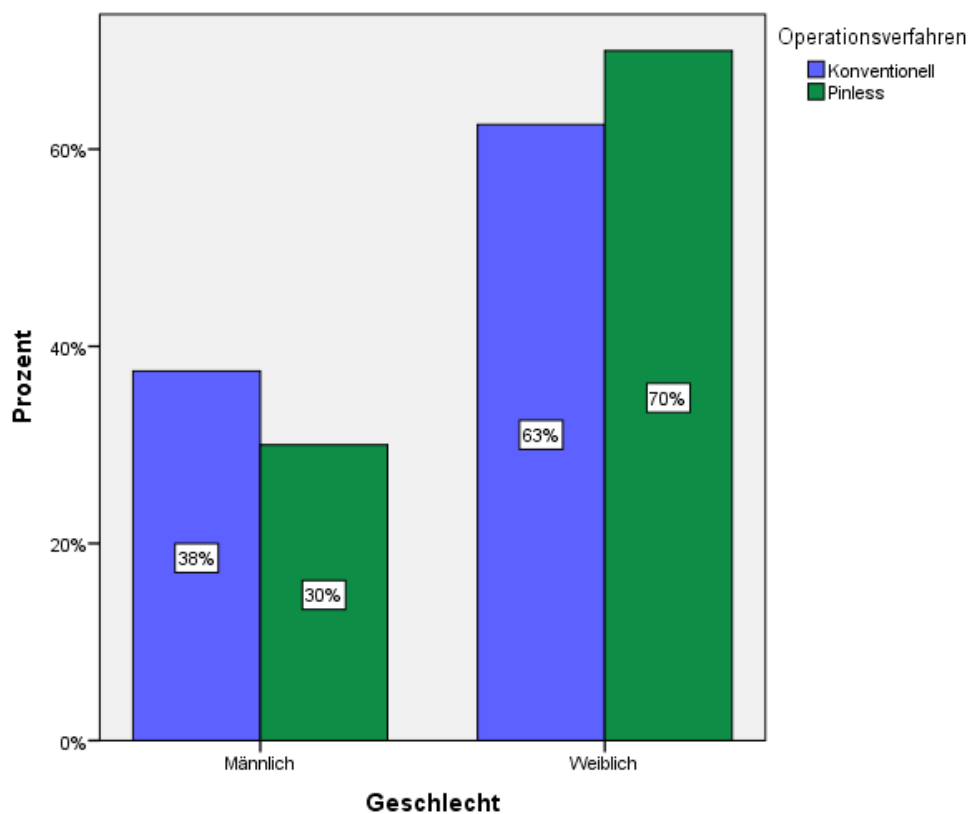


Abbildung 6: Darstellung der Geschlechterverteilung

*Es ist zu erkennen, dass sich die Geschlechterverteilung zwischen den beiden Gruppen nicht unterscheiden. Der exakte Fisher-Test zeigte diesbezüglich keinen signifikanten Unterschied ( $p = 0,637$ ).*

### 3.1.2 Patientenalter

Das Durchschnittsalter des Patientenkollektivs betrug  $69,6 \pm 8,8$  Jahre. Der jüngste Patient war 51 Jahre alt, der älteste Patient 86 Jahre.

Die Spannweite in Bezug auf das Lebensalter reichte in der Fallgruppe von 51 bis 86 Jahren, das Durchschnittsalter betrug  $69,8 \pm 8,7$  Jahren.

In der Kontrollgruppe lag das Durchschnittsalter bei  $69,5 \pm 8,9$  Jahre. Der jüngste Patient war 53 Jahre alt, der älteste Patient 86 Jahre.

Mit Hilfe des t-Test konnte gezeigt werden, dass sich diese beiden Gruppen hinsichtlich des Patientenalters nicht signifikant unterschieden ( $p = 0,889$ ) (siehe Tabelle 2 und Abbildung 7)

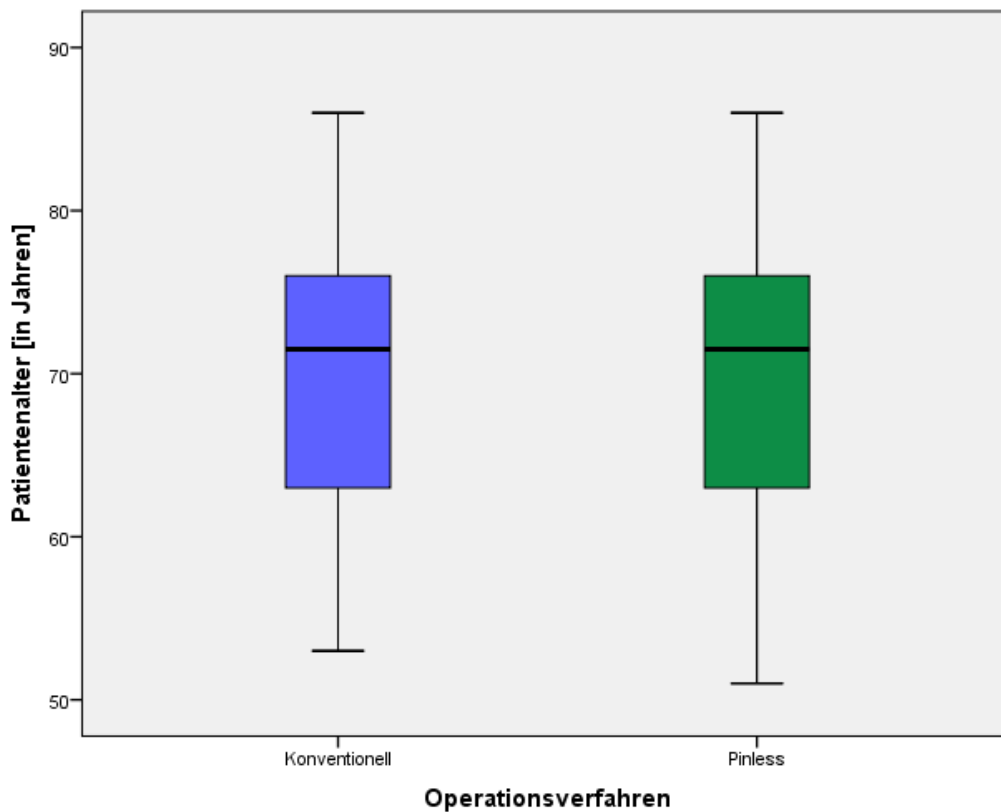


Abbildung 7: Darstellung der Verteilung des Patientenalters zum Zeitpunkt der Operation

*Der Boxplot veranschaulicht eine ungefähr gleiche Spannweite des Patientenalters in den beiden Gruppen. Einen signifikanten Unterschied konnte der t-Test zwischen der Fall- und der Kontrollgruppe nicht zeigen ( $p = 0,889$ ).*

### 3.1.3 Der BMI

Der Body Mass Index (BMI) betrug im Gesamtkollektiv im Durchschnitt  $31,6 \pm 5,1 \text{ kg/m}^2$  mit einer Spannbreite von  $22 \text{ kg/m}^2$  bis  $45 \text{ kg/m}^2$ .

In der Pinless-Gruppe lag der durchschnittliche BMI bei  $31,2 \pm 5,3 \text{ kg/m}^2$  mit einer Spannbreite von  $23 \text{ kg/m}^2$  bis  $45 \text{ kg/m}^2$ .

Vergleichend dazu betrug der BMI in der Kontrollgruppe  $32,0 \pm 5,0 \text{ kg/m}^2$  mit einer Spannweite von  $22 \text{ kg/m}^2$  bis  $44 \text{ kg/m}^2$ .

Die beiden Gruppen zeigten hinsichtlich ihrem BMI eine homogene Verteilung und waren nicht signifikant unterschiedlich ( $p = 0,503$ ) (siehe Tabelle 2 und Abbildung 8).

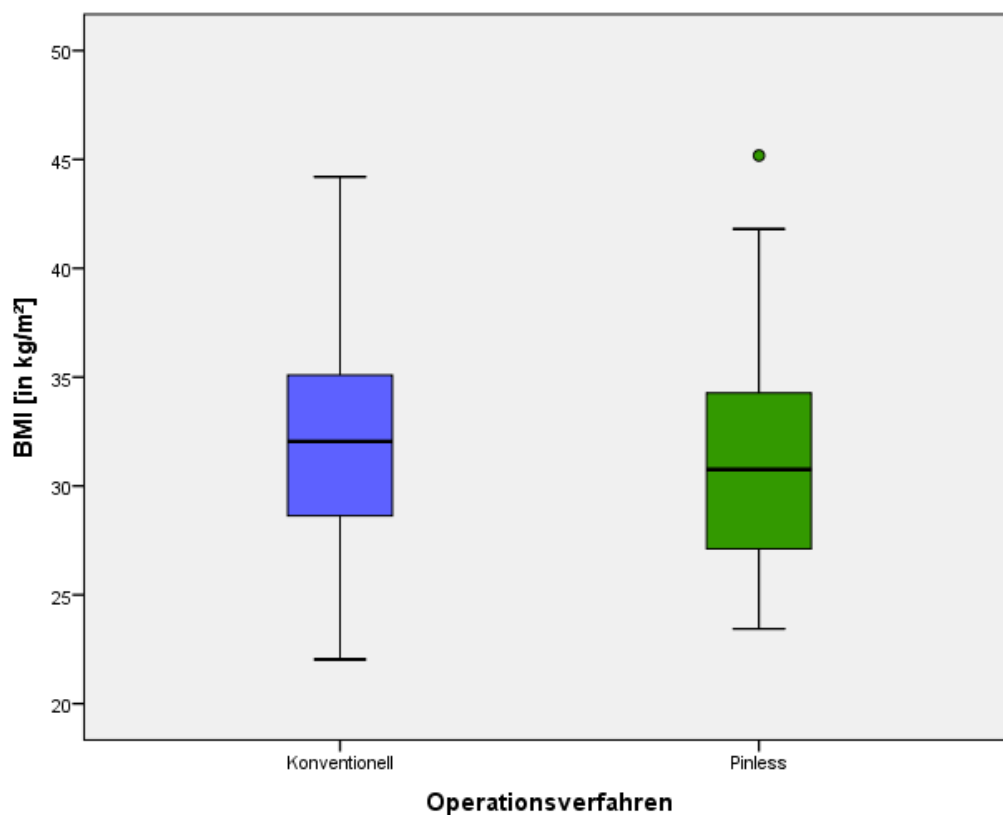


Abbildung 8: Verteilung des BMIs

*Eine ungefähr gleiche Streubreite der beiden Patientengruppen ist zu erkennen. Einen signifikanten Unterschied diesbezüglich gab es nicht ( $p = 0,503$ ).*



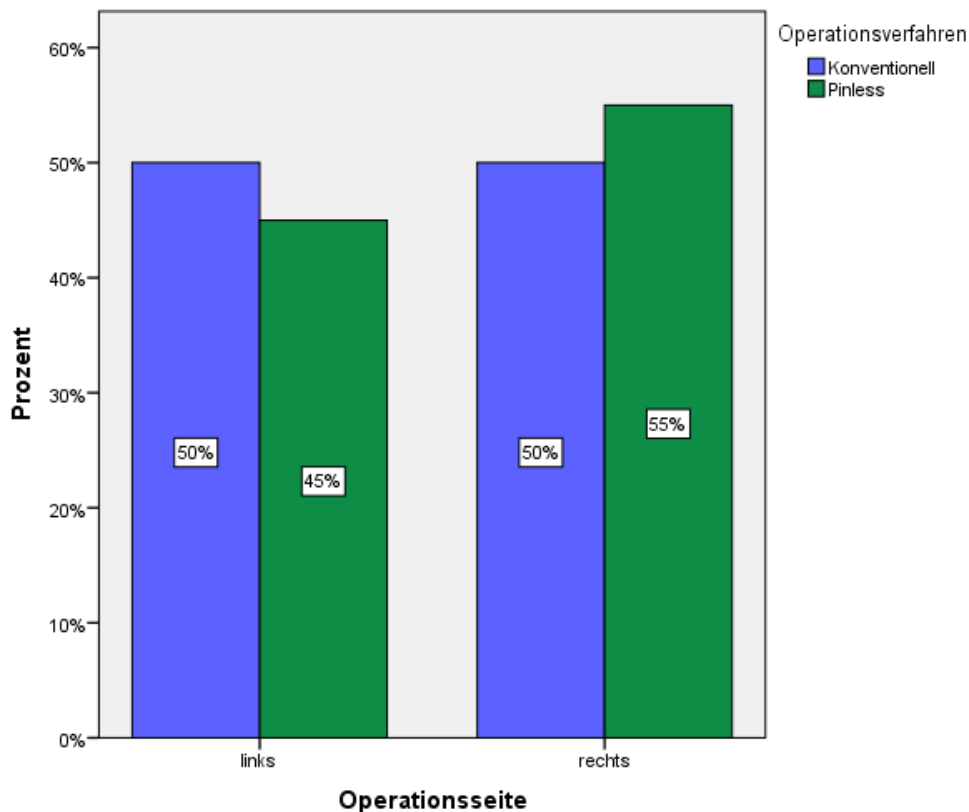
### 3.1.4 Operationsseite

Insgesamt wurden 38 Patienten (47,5 %) an ihrem linken Kniegelenk und 42 Patienten (52,5 %) an ihrem rechten Kniegelenk operiert.

In der Fallgruppe (Pinless-Navigation) wurden 18 Patienten an ihrem linken Kniegelenke (45,0 %), 22 an ihrem rechten Kniegelenke (55,0 %) mit einer Knieendoprothese versorgt.

In der Kontrollgruppe erfolgte der Kniegelenkersatz jeweils zwanzigmal auf der linken Seite (50%) und zwanzigmal auf der rechten Seite (50%).

Die beiden Gruppen zeigten keinen signifikanten Unterschied hinsichtlich der Operationsseite ( $p = 0,823$ ) (siehe Tabelle 2 und Abbildung 9).



**Abbildung 9:** Darstellung des Verhältnisses der Operationsseite

*Es ist zu erkennen, dass das linke und das rechte Kniegelenk ungefähr gleich oft in beiden Gruppen operiert wurden. Ein signifikanter Unterschied zwischen den Patientengruppen gab es diesbezüglich nicht ( $p = 0,823$ ).*

### 3.1.5 Vergleich präoperativer Patientendaten

Die nachfolgende Tabelle veranschaulicht die präoperativen erhobenen Patientendaten. Mit Hilfe des exakten Fisher-Tests und des t-Tests für unabhängige Variablen konnte bewiesen werden, dass sich die Patienten in beiden Gruppen hinsichtlich des Alters, Geschlechts, des BMIs sowie der Operationsseite der beiden Patientengruppen präoperativ nicht signifikant voneinander unterschieden (siehe Tabelle 2).

		Pinless (n = 40)		Konventionell (n = 40)		p-Wert*
Geschlecht		Weiblich	Männlich	Weiblich	Männlich	
	Anzahl	28	12	25	15	0,637
Operationsseite		Rechts	Links	Rechts	links	
		18	22	20	20	0,823
	BMI (in kg/m²)	31,2 ± 5,3		32,0 ± 5,0		0,503
	Alter (in Jahren)	69,8 ± 8,7		69,5 ± 8,9		0,889
<i>*statistisch signifikante p-Werte &lt;0.05 sind fett und kursiv dargestellt</i>						

**Tabelle 2:** Tabellarischer Vergleich der präoperativen Patientendaten

*Es konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Patientengruppen bezüglich der präoperativen Daten gezeigt werden.*

## 3.2 Mechanische Beinachse

### 3.2.1 Präoperative mechanische Beinachse

Bezüglich der präoperativen Beinachse erfolgte eine Unterscheidung in ein Knie im Neutralbereich, ein Genu varus und ein Genu valgus. Der Neutralbereich wurde als Abweichung  $\leq \pm 3^\circ$  von der mechanischen Achse definiert. Daten außerhalb dieses Bereiches wurden als Ausreißer bezeichnet.

Präoperativ befanden sich im Gesamtkollektiv nur 12 Patienten im Neutralbereich (15%), 53 Patienten (66,3 %) hatten dagegen ein Genu varus, 15 Patienten ein Genu valgus (18,8 %).

In der Fallgruppe gab es 28 varische (70%), 7 valgische (17,5%) und 5 neutrale Beinachsen (12,5%). Die durchschnittliche Achsenabweichung der Fallgruppe betrug  $4,5^\circ$

## Ergebnisse

Varus mit einer Standardabweichung von  $\pm 6,3^\circ$ . Der Maximalwert lag für das varische Gelenk bei  $14,0^\circ$ , für das valgische Kniegelenk bei  $12,4^\circ$ . 35 Patienten waren Ausreißer (87,5%) und 5 Patienten hatten keine Abweichung vom definierten Neutralbereich (12,5%).

In der Kontrollgruppe konnten 25 varische (62,5%), 8 valgische (20%) und 7 neutrale Beinachsen (17,5%) nachgewiesen werden. Der Mittelwert der Achsenabweichung betrug  $4,8^\circ$  mit einer Standardabweichung von  $\pm 7,4^\circ$ . Der maximale Wert lag für das varische Bein bei  $15,6^\circ$ , für das valgische Bein bei  $13,1^\circ$ . In der Kontrollgruppe waren insgesamt 33 Ausreißer (82,5%), 7 Patienten befanden sich innerhalb des definierten Neutralbereichs (17,5%).

Die Abbildung 10 zeigt veranschaulicht die in beiden Gruppen erhobenen Daten der präoperativen Beinachse (Spannweite und Median), wobei sich hier vergleichbare Daten ergaben. Passend hierzu kann der t-Test für unabhängige Variablen zeigen, dass in beiden Gruppen kein signifikanter Unterschied in der präoperativen mittleren Beinachse ( $p = 0,842$ ) besteht. Mit Hilfe des exakten Fisher-Tests kann ebenso gezeigt werden, dass in Bezug auf die Ausreißer die Fall- und Kontrollgruppe sich nicht signifikant voneinander unterscheiden ( $p = 0,755$ ) (siehe Tabelle 3).

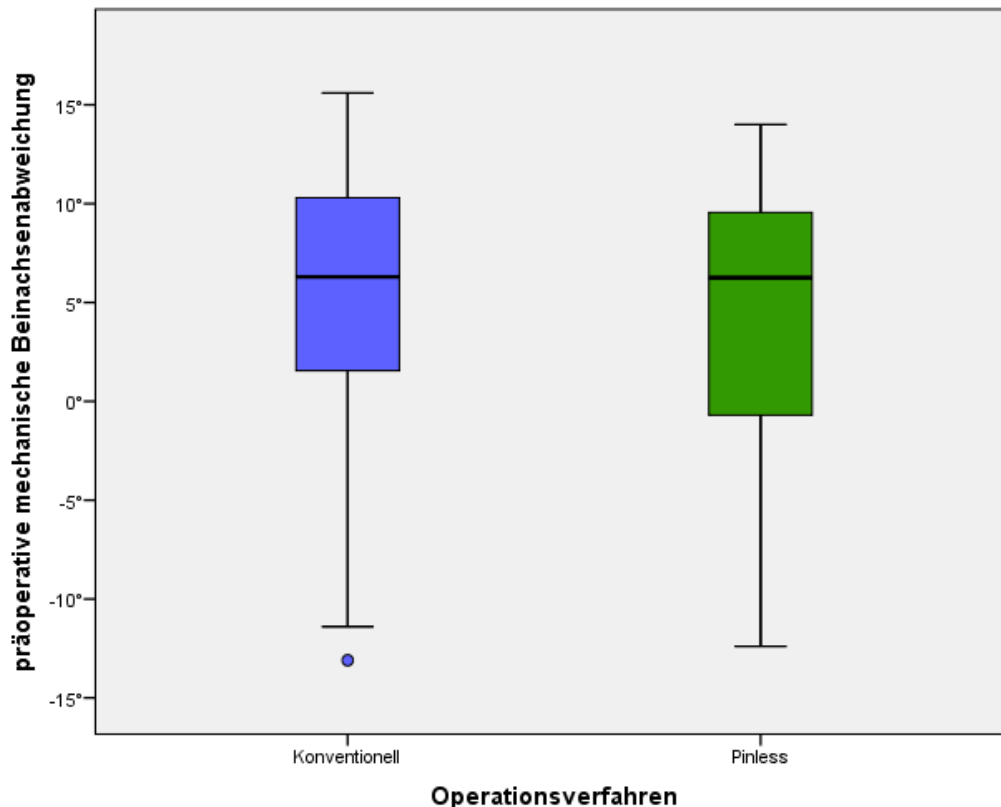
	Pinless (n = 40)			Konventionell (n = 40)			p-Wert*
Mech. Beinachse	$4,5^\circ \pm 6,3^\circ$			$4,8^\circ \pm 7,4^\circ$			0,842
Abweichung von $90^\circ$ :	$> \pm 3^\circ$		$\leq \pm 3^\circ$	$> \pm 3^\circ$		$\leq \pm 3^\circ$	
Anzahl	35		5	33		7	0,755
Beinachse:	Varus	Neutral	Valgus	Varus	Neutral	Valgus	
Anzahl	28	5	7	25	7	8	

*\*statistisch signifikante p-Werte <0.05 sind fett und kursiv dargestellt*

**Tabelle 3:** Tabellarische Darstellung der präoperativen Beinachse

*Hier ist kein signifikanter bezüglich der präoperativen Beinachse und der Anzahl der Ausreißer zwischen den beiden Gruppen zu erkennen.*

## Ergebnisse



*Abbildung 10: Darstellung der präoperative Beinachsenabweichung*

*Mit Hilfe des Boxplots ist eine ungefähr gleiche Spannweite der beiden Gruppen bezüglich der präoperativen mechanischen Beinachsenabweichung zu erkennen. Signifikante Unterschiede zwischen den Patientengruppen gab es bezüglich des Mittelwertes ( $p = 0,842$ ) und der Anzahl der Ausreißer ( $p = 0,755$ ) keine.*

### 3.2.2 Postoperative Beinachse

Die postoperative mechanische Beinachse hatte im Gesamtkollektiv im Durchschnitt einen Valguswinkel von  $0,266^\circ \pm 2,53$  zur physiologischen Mikulic-Linie. 7 Patienten (8,8 %) hatten nach der Operation eine valgische Beinachse, 5 Patienten (6,3 %) eine varische Beinachse, 68 Patienten (85,0 %) eine neutrale Beinachse. Insgesamt ergaben sich somit postoperativ nur 12 Ausreißer im Gesamtkollektiv von 80 Patienten.

In der Fallgruppe (Pinless-navigiertes Verfahren) befand sich bei 38 Patienten (95,0%) die Beinachse postoperativ in neutraler Position, bei 2 Patienten (5,0 %) lag postoperativ eine valgische Beinachse vor. Kein Kniegelenk befand sich postoperativ in varischer Position. Der Maximalwert für die valgische Beinachse betrug  $5,1^\circ$ , für die varische Beinachse betrug der Maximalwert  $2,1^\circ$ . Der Mittelwert der postoperativen Achsenabweichung war ein Valgus Winkel von  $0,4^\circ$  mit einer Standardabweichung von  $\pm 1,8^\circ$ .

## Ergebnisse

In der Kontrollgruppe (konventionelles Operationsverfahren) hatten 30 Patienten (75%) postoperativ eine neutrale Beinachse, 5 Patienten (12,5%) eine varische Beinachse und 5 Patienten (12,5%) eine valgische Beinachse. Die Maximalwerte lagen jeweils bei 8,4° Valgus und 7,6° Varus. Der Mittelwert der Achsenabweichung war ein Valgus von 0,1° mit einer Standardabweichung von  $\pm 3,1^\circ$ . Die Kontrollgruppe umfasste 10 Ausreißer (25%) und 30 Patienten innerhalb des definierten Neutralbereichs (75%).

Die Abweichung der mittleren mechanischen Beinachse bei der konventionell operierten Methode wies eine viel größere Spannweite auf als bei der Pinless-navigierten Methode (Abbildung 12). Der Mittelwert der beiden Gruppen unterschied sich nicht signifikant ( $p = 0,672$ ) voneinander. Jedoch konnte anhand des exakten Fisher-Tests gezeigt werden, dass sich die postoperative Beinachse bezüglich der Ausreißer in beiden Gruppen signifikant voneinander unterschied ( $p = 0,025$ ) (siehe Tabelle 4).

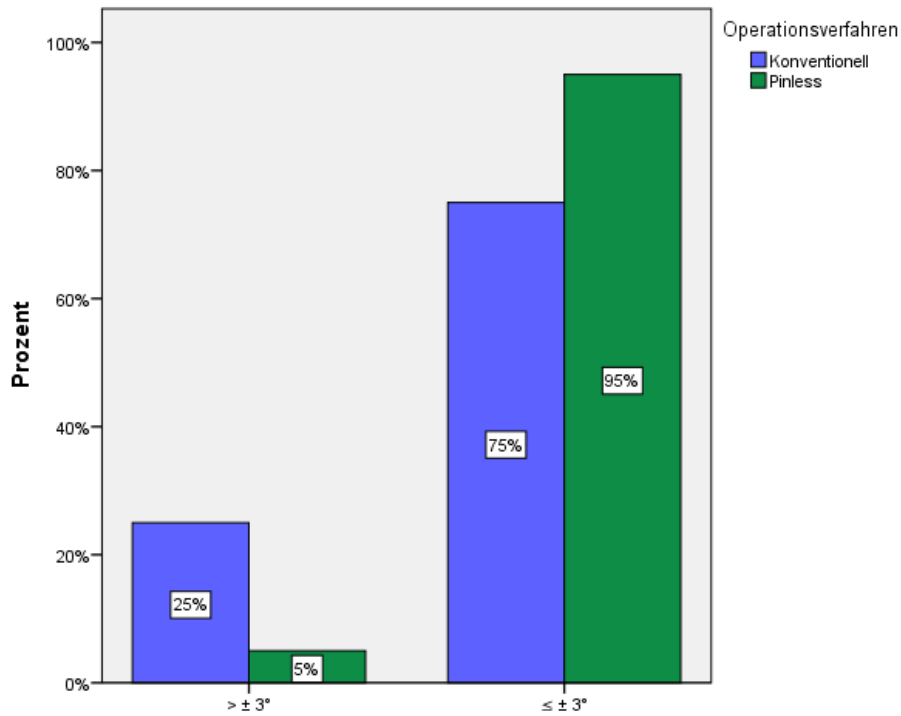
		Pinless (n = 40)			Konventionell (n = 40)			p-Wert*
	Mech. Beinachse	$-0,4^\circ \pm 1,8^\circ$			$-0,1^\circ \pm 3,1^\circ$			0,672
Abweichung von 90°:		$> \pm 3^\circ$		$\leq \pm 3^\circ$	$> \pm 3^\circ$		$\leq \pm 3^\circ$	
	Anzahl	2		38	10		30	<b>0,025</b>
Beinachse		Varus      Neutral      Valgus			Varus      Neutral      Valgus			
	Anzahl	0      38      2			5      30      5			

*\*statistisch signifikante p-Werte <0.05 sind fett und kursiv dargestellt*

**Tabelle 4:** Tabellarische Darstellung der postoperativen Daten zur mechanischen Beinachse

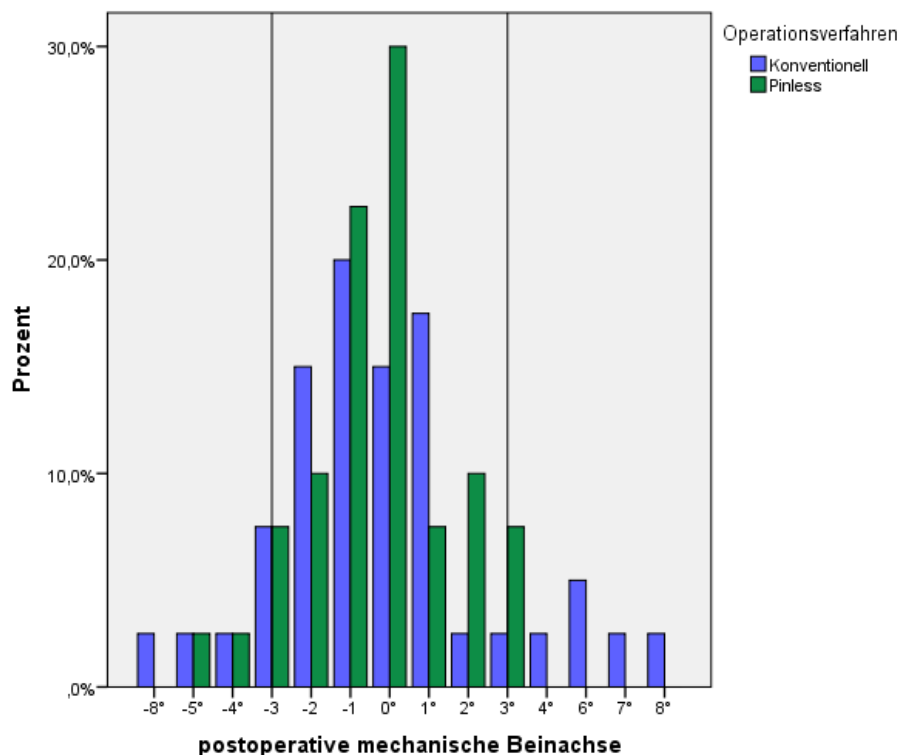
Signifikante Unterschiede bezüglich des Mittelwertes der postoperativen mechanischen Beinachsenabweichung gab es keine. Währenddessen zeigte der Vergleich der Anzahl der Ausreißer einen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen ( $p = 0,025$ ).

## Ergebnisse



**Abbildung 11:** Prozentuale Verteilung der Ausreißer der postoperativen mechanischen Beinachsen

Es ist zu erkennen dass die Anzahl der Ausreißer  $> \pm 3^\circ$  in der Pinless-navigierten Gruppe größer ist. Dies stellte sich als ein signifikanter Unterschied ( $p = 0,025$ ) dar.



**Abbildung 12:** Vergleich der postoperativen mechanischen Beinachsenabweichung

Eine größere Streubreite in der Kontrollgruppe (blau) ist zu erkennen. Ebenso ist zu erkennen, dass sich die Daten in der Pinless-navigierte Gruppe (grün) vermehrt im Neutralbereich befinden. Dieser Unterschied bezüglich der Anzahl der Ausreißer (Beinachsenabweichung  $> \pm 3^\circ$ ) war signifikant zwischen beiden Gruppen ( $p = 0,025$ ).

### **3.3 Coronare femorale Ausrichtung**

#### **3.3.1 Präoperativer mechanischer distaler coronarer Femurwinkel**

Der Winkel der Femurbasis zur femoralen mechanischen Beinachse oder der mechanische distale Femurwinkel und wird in englischen Sprachgebrauch mit mLDFA (mechanical lateral distal femoral angle) bezeichnet. Er sollte  $90^\circ \pm 3^\circ$  betragen (Normbereich). Als Ausreißer wurden diejenigen definiert, bei denen sich der Winkel außerhalb von  $90^\circ \pm 3^\circ$  befand.

Im Gesamtkollektiv betrug der durchschnittliche mLDFA  $88,3^\circ \pm 2,3^\circ$ . Der größte Winkel lag bei  $96,3^\circ$ , der kleinste Winkel bei  $82,6^\circ$ . Es ergaben sich 26 Ausreißer (32,5%) und 54 Patienten innerhalb des definierten Normbereichs (67,5%).

In der Fallgruppe (Pinless-Navigation) hatte der mLDFA einen Durchschnittswert von  $87,6^\circ \pm 2,4^\circ$  mit einer Spannbreite von  $82,6^\circ$  bis  $92,4^\circ$ . Es wurden 18 Ausreißer (45,0 %) nachgewiesen, bei 22 Patienten (55,0%) lag der Winkel innerhalb  $90^\circ \pm 3^\circ$ .

In der Kontrollgruppe (konventionelles Operationsverfahren) betrug der durchschnittliche mLDFA  $89,1^\circ \pm 2,1^\circ$  mit einem maximalen Winkel von  $96,3^\circ$  und einen minimalen Winkel von  $84,9^\circ$ . Die Kontrollgruppe beinhaltete 32 Patienten (80%) mit mLDFA im Normbereich und 8 Ausreißer (20%)

Die Abbildung 13 veranschaulicht, dass die Fallgruppe (Pinless-Navigation) sich in Bezug auf den mittleren präoperativen mLDFA von der Kontrollgruppe unterschied. Der t-Test für unabhängige Variablen zeigt, dass sich die Mittelwerte des präoperativen mLDFA in beiden Gruppen signifikant voneinander unterschieden ( $p = 0,005$ ). Ein signifikanter Unterschied bestand präoperativ auch zwischen den beiden Gruppen in Bezug auf das Verhältnis der Ausreißer ( $p = 0,031$ ) (siehe Tabelle 5 und Abbildung 13).

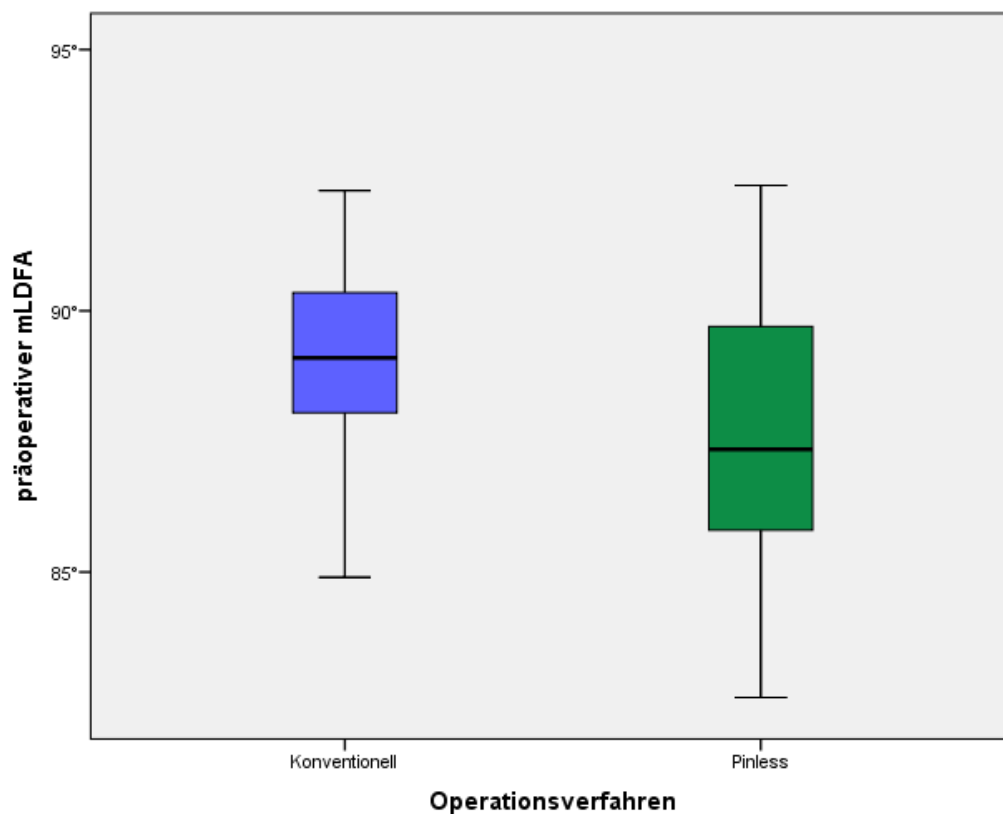
## Ergebnisse

		Pinless (n = 40)		Konventionell (n = 40)		p-Wert*
	mLDFA	87,6° ± 2,4°		89,1° ± 2,1°		<b><i>0,005</i></b>
Abweichung von 90°:		> ± 3°	≤ ± 3°	> ± 3°	≤ ± 3°	
	Anzahl	18	22	8	32	<b><i>0,031</i></b>

*\*statistisch signifikante p-Werte <0.05 sind fett und kursiv dargestellt*

**Tabelle 5:** Tabellarische Darstellung des präoperativen mLDFA

Ein signifikanter Unterschied besteht zwischen den beiden Gruppen bezüglich des Mittelwertes ( $p = 0,005$ ) und der Anzahl der Ausreißer ( $p = 0,031$ ).



**Abbildung 13:** Darstellung der Verteilung des präoperativen mLDFA

Die unterschiedliche Spannweite des präoperativen mLDFA der beiden Gruppen ist zu erkennen. Der Unterschied der Mittelwerte der beiden Gruppen erwies sich als signifikant ( $p = 0,005$ ).



### 3.3.2 Postoperative coronare femorale Prothesenausrichtung

Im Gesamtkollektiv betrug der durchschnittliche postoperative coronare femorale Prothesenausrichtungswinkel  $90,0^\circ \pm 1,9^\circ$  mit einem größten Winkel von  $96,3^\circ$  und einem kleinsten Winkel von  $84,9^\circ$ . Es befanden sich im Gesamtkollektiv 9 Ausreißer (11,3%) und 71 korrekt implantierte Endoprothesen (88,7%).

Die Fallgruppe (Pinless-Navigation) wies im Durchschnitt einen Winkel von  $89,7^\circ \pm 1,4^\circ$  auf. Die Spannweite erstreckte sich von  $87,2^\circ$  bis  $92,9^\circ$ . Die Fallgruppe ( $n = 40$ ) enthielt keine Ausreißer (0%).

In der Kontrollgruppe (konventionelles Operationsverfahren) fand sich eine durchschnittlicher Winkel der coronaren femoralen Prothesenausrichtung von  $90,3^\circ \pm 2,3^\circ$  bei einer Spannweite von  $84,9^\circ$  bis  $96,3^\circ$ . Die Kontrollgruppe beinhaltete von 40 Patienten 9 Ausreißer (22,5%).

Mit Hilfe des exakten Fisher-Tests konnte bewiesen werden, dass in Bezug auf die Ausreißer vom postoperativen coronaren femoralen Prothesenausrichtung ein signifikanter Unterschied zwischen der Fallgruppe und der Kontrollgruppe bestand ( $p = 0,002$ ). Ein signifikanter Unterschied zwischen den Mittelwerten des Winkels bestand jedoch zwischen den beiden Gruppen nicht ( $p = 0,166$ ) (siehe Tabelle 6 und Abbildung 14, 15)

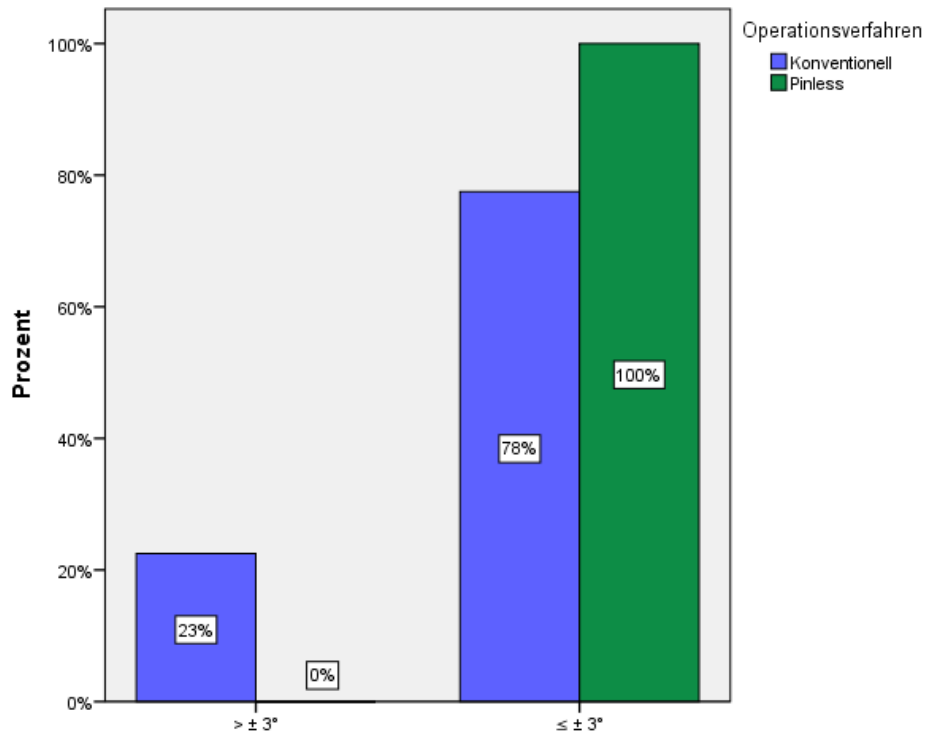
	Pinless (n = 40)		Konventionell (n = 40)		p-Wert*
Prothesenausrichtung	$89,7^\circ \pm 1,4^\circ$		$90,3^\circ \pm 2,3^\circ$		0,166
Abweichung von $90^\circ$ :	$> \pm 3^\circ$	$\leq \pm 3^\circ$	$> \pm 3^\circ$	$\leq \pm 3^\circ$	
Anzahl	0	40	9	31	<b><i>0,002</i></b>

*\*statistisch signifikante p-Werte  $<0.05$  sind fett und kursiv dargestellt*

**Tabelle 6:** Tabellarische Darstellung der postoperativen coronaren femoralen Prothesenausrichtung

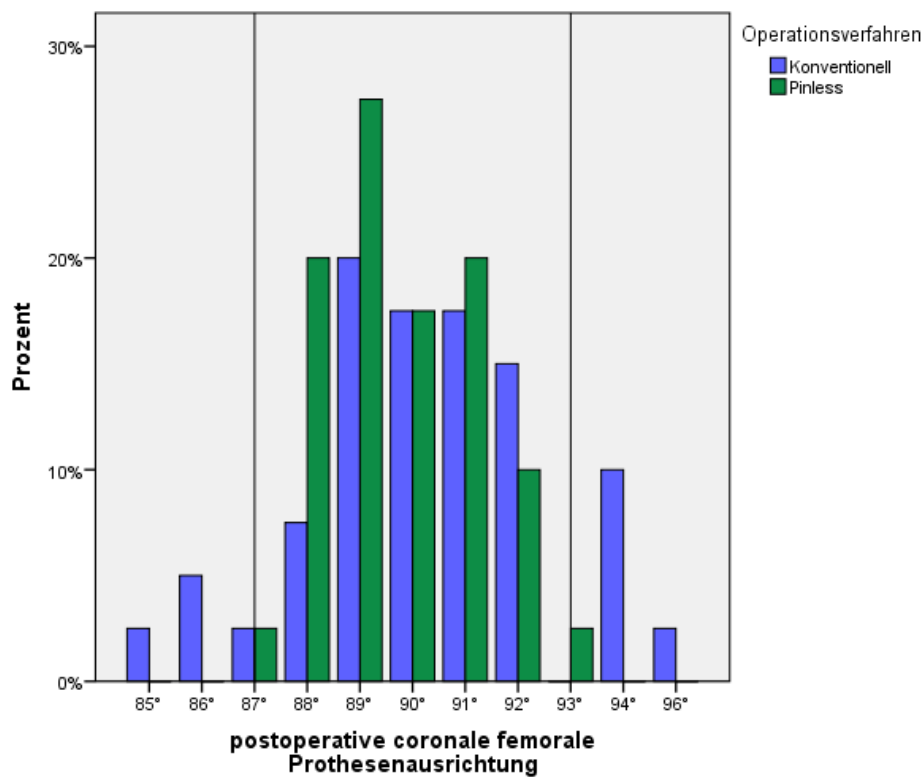
Bezüglich des Mittelwertes der postoperativen coronaren femoralen Prothesenausrichtung unterscheiden sich die beiden Gruppen nicht. Ein signifikanter Unterschied der Ausreißer ist jedoch vorhanden ( $p = 0,002$ ).

## Ergebnisse



**Abbildung 14:** Prozentuale Verteilung der Ausreißer der postoperativen coronaren femoralen Prothesenausrichtung

Es ist die signifikante Reduktion der Anzahl der Ausreißer in der Pinless-Gruppe gegenüber der konventionell operierten Gruppe zu erkennen ( $p = 0,002$ )



**Abbildung 15:** Prozentuale Verteilung des postoperativen coronaren femoralen Winkels

Eine größere Streubreite der konventionell operierten Gruppe (blau) ist zu erkennen. Es bestand ein signifikanter Unterschied bezüglich der Ausreißer ( $> \pm 3^\circ$ ) zwischen den beiden Gruppen ( $p = 0,002$ ).

### **3.4 Coronare tibiale Ausrichtung**

#### **3.4.1 Präoperativer mechanischer coronarer tibialer Winkel**

Der Winkel der Kniebasislinie zur tibialen mechanischen Beinachse (mMPTA = mechanical medial proximal tibial angle) veranschaulicht die Abweichung der Tibiakomponente in der Frontalebene. Im Idealfall sollte dieser Winkel  $90^\circ \pm 3^\circ$  betragen (Normbereich). Als Ausreißer werden Patienten definiert, bei denen der Winkel mMPTA außerhalb dieses Normwertes liegt.

Im Gesamtkollektiv fand sich ein mMPTA mit einem Mittelwert von  $87,3^\circ$  und einer Standardabweichung von  $3,1^\circ$ . Die maximalen Werte dieses Winkels betrugen  $81,5^\circ$  und  $95,7^\circ$ . Es fanden sich 38 Ausreißer (47,5%) im Gesamtkollektiv.

In der Fallgruppe betrug der durchschnittliche Winkel  $87,0^\circ$  bei einer Standardabweichung von  $2,8^\circ$ . Die extremsten Werte lagen bei  $81,5^\circ$  bzw.  $92,0^\circ$ , die Zahl der Ausreißer betrug 15 (37,5%).

In der Kontrollgruppe fand sich ein Mittelwert des mMPTA von  $87,6^\circ$  bei einer Standardabweichung von  $3,4^\circ$ . In diesem Patientenkollektiv ergaben sich maximale Werte von  $81,6^\circ$  bzw.  $95,7$ . Es ergaben sich 23 Ausreißer (57,5%) und 17 Patienten (42,5%), die innerhalb des Normbereichs lagen.

Mittels t-Test konnte bewiesen werden, dass es keinen signifikanten Unterschied zwischen beiden Gruppen hinsichtlich des mittleren Winkels der Kniebasislinie zur tibialen mechanischen Beinachse ( $p = 0,405$ ) gab. Ebenso bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen in Bezug auf die Ausreißer des präoperativen mechanischen coronaren tibialen Winkels ( $p = 0,117$ ). Somit ergab sich zwischen den beiden Gruppen kein Unterschied präoperativ bezüglich des mMPTA (siehe Tabelle 7 und Abbildung 16).

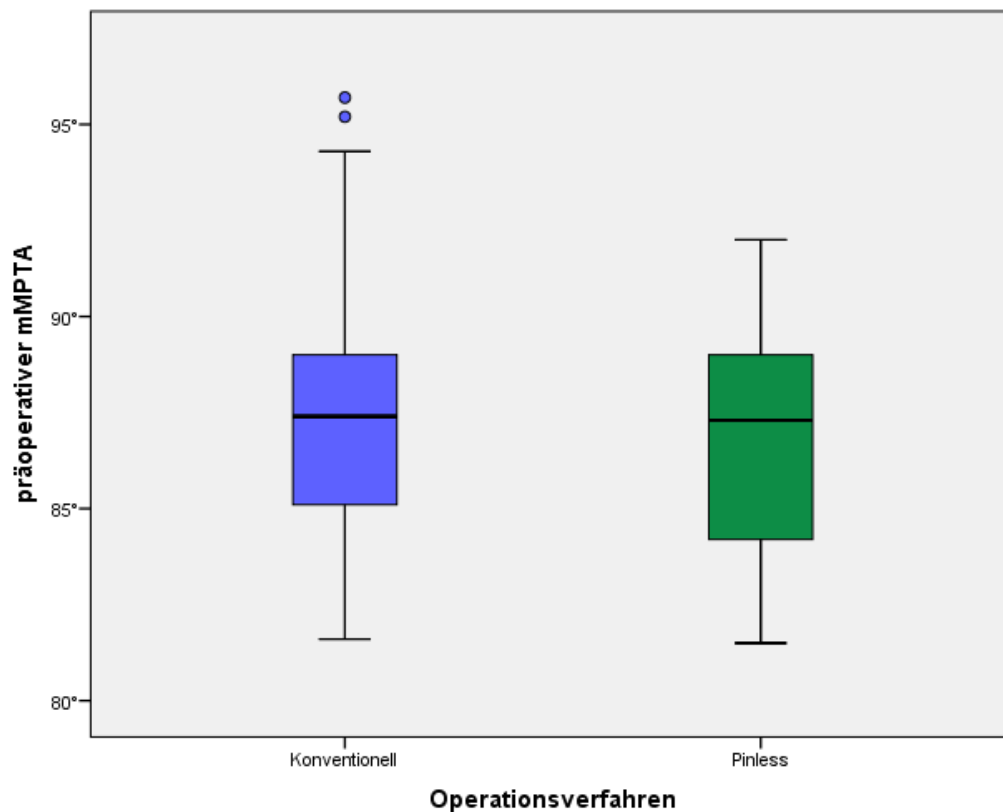
## Ergebnisse

	Pinless (n = 40)		Konventionell (n = 40)		p-Wert*
mMPTA Winkel	87,0° ± 2,8°		87,6° ± 3,4°		0,405
Abweichung von 90°:	> ± 3°	≤ ± 3°	> ± 3°	≤ ± 3°	
Anzahl	15	25	23	17	0,117

*\*statistisch signifikante p-Werte <0.05 sind fett und kursiv dargestellt*

**Tabelle 7:** Tabellarische Darstellung des präoperativen mMPTA

Signifikante Unterschiede zwischen den beiden Gruppen gab es präoperativ diesbezüglich keine.



**Abbildung 16:** Darstellung des präoperativen mMPTA

Mit Hilfe des Boxplots ist erkennbar, dass die Spannweite des mMPTA ungefähr gleich ist. Signifikante Unterschiede bestanden bezüglich des Mittelwertes ( $p = 0,405$ ) oder der Ausreißer ( $p = 0,117$ ) des präoperativen mMPTA keine.

### 3.4.2 Postoperative coronare tibiale Prothesenausrichtung

Postoperativ ergab sich im Gesamtkollektiv eine durchschnittliche coronare tibiale Prothesenausrichtung von  $90,1^\circ \pm 1,9^\circ$  bei einer Spannweite von  $84,1^\circ$  bis  $94,1^\circ$ . Hierbei fanden sich 7 Ausreißer bei 80 Patienten.

In der Fallgruppe zeigte sich ein durchschnittlicher Winkel von  $89,9^\circ \pm 1,6^\circ$  bei einer Spannbreite von  $87,2^\circ$  und  $93,6^\circ$ . Die Fallgruppe beinhaltete nur einen 1 Ausreißer (2,5%) bei 40 Patienten.

In der Kontrollgruppe ergab sich ein mittlerer Winkel von  $90,2^\circ \pm 2,1^\circ$ , wobei die Werte von  $84,1^\circ$  bis  $94,1^\circ$  reichten. Dabei ergaben sich 6 Ausreißer (15%) und 34 Patienten (85%), die einen Winkel innerhalb des Normbereichs hatten.

Mit Hilfe des t-Tests der unabhängigen Variablen konnte gezeigt werden, dass die beiden Gruppen sich bezüglich der durchschnittlichen postoperativen coronaren tibialen Prothesenausrichtung ( $p = 0,430$ ) nicht signifikant voneinander unterscheiden. Ebenso konnte durch den exakten Fisher-Test bewiesen werden, dass die Fall- und Kontrollgruppe sich hinsichtlich der Ausreißer in Bezug auf die postoperative coronare tibiale Prothesenausrichtung nicht signifikant unterscheiden ( $p = 0,108$ ) (siehe Tabelle 8 und Abbildung 17, 18)

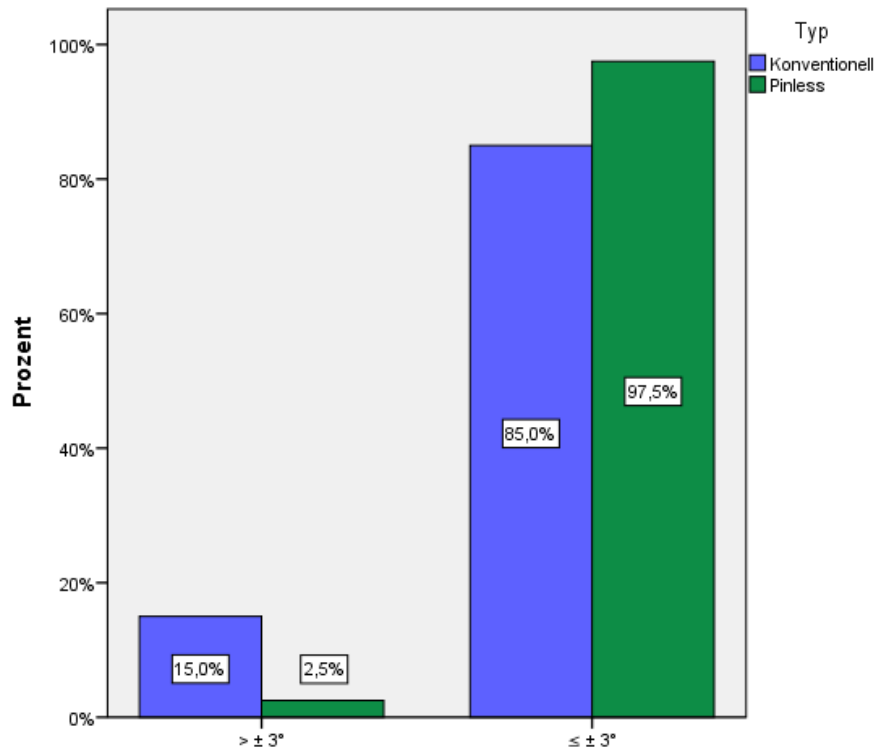
	Pinless (n = 40)		Konventionell (n = 40)		p-Wert*
Prothesenausrichtung	$89,9^\circ \pm 1,6^\circ$		$90,2^\circ \pm 2,1^\circ$		0,430
Abweichung von $90^\circ$ :	$> \pm 3^\circ$	$\leq \pm 3^\circ$	$> \pm 3^\circ$	$\leq \pm 3^\circ$	
Anzahl	1	39	6	34	0,108

*\*statistisch signifikante p-Werte  $<0.05$  sind fett und kursiv dargestellt*

**Tabelle 8:** Tabellarische Darstellung der postoperativen coronaren tibialen Prothesenausrichtung

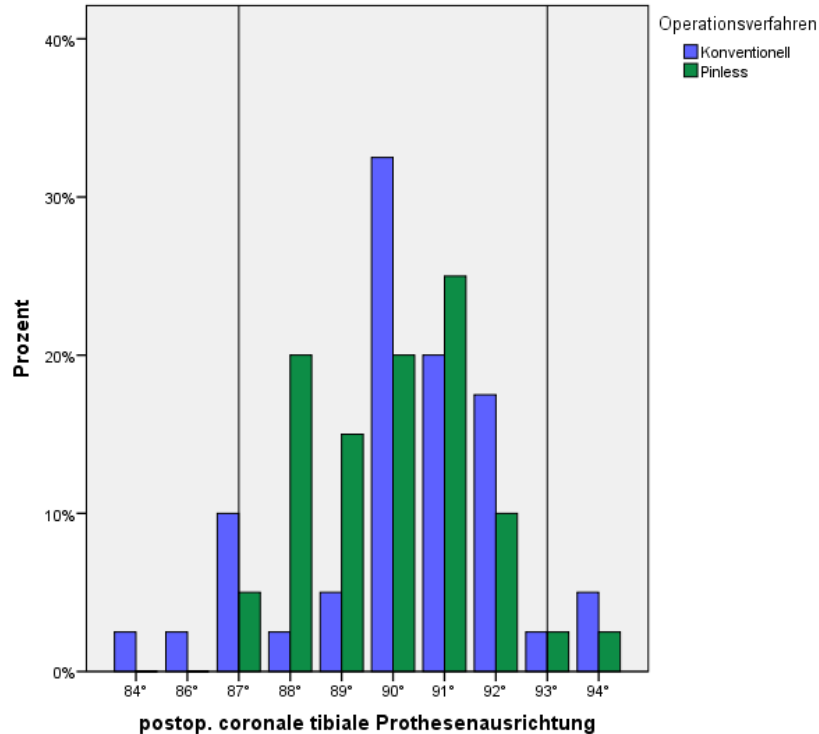
*Signifikante Unterschiede wurden zwischen den beiden Gruppen postoperativ nicht vermerkt.*

## Ergebnisse



**Abbildung 17:** Prozentuale Verteilung der Ausreißer der postoperativen coronaren tibialen Prothesenausrichtung

Eine geringere Anzahl an Ausreißer ( $> \pm 3^\circ$ ) ist in der Pinless-navigierten Gruppe (grün) zu erkennen, ein signifikanter Unterschied ergab sich hier jedoch nicht ( $p = 0,108$ ).



**Abbildung 18:** Prozentuale Verteilung der postoperativen coronaren tibialen Prothesenausrichtung

Eine größere Streubreite in der konventionell-operierten Gruppe (blau) ist zu erkennen. Signifikante Unterschiede bezüglich des Mittelwertes ( $p = 0,430$ ) oder der Anzahl der Ausreißer ( $p = 0,108$ ) jedoch gab es hierzu keine.

### 3.5 Korrekturen der femoralen und tibialen Schnittblöcke

Die Anzahl der erforderlichen operativen Korrekturen des femoralen und des tibialen Schnittblocks unterschied sich signifikant zwischen den beiden Gruppen.

In der Kontrollgruppe erfolgte nur bei einem Patienten eine Korrektur des femoralen Schnittblockes, währenddessen in der Fallgruppe (Pinless-Navigation) bei 15 von 40 Patienten (37,5%) eine Veränderung des Sitzes der Schnittblöcke im Sinne einer Korrektur durchgeführt wurde.

Eine Korrektur des tibialen Schnittblockes wurde in der Kontrollgruppe nicht durchgeführt. In der Fallgruppe erfolgte dagegen bei jedem zweiten Patienten (20 von 40 Patienten) eine Korrektur des tibialen Schnittblockes.

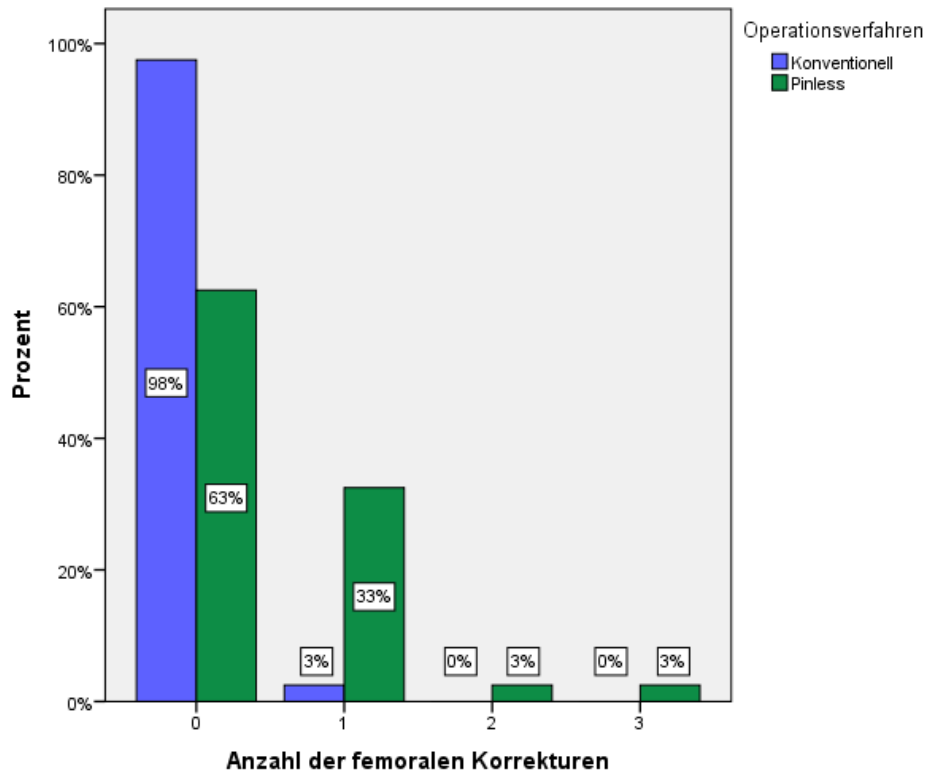
Mit Hilfe des exakten Fisher-Tests konnte ein signifikanter Unterschied ( $p < 0,001$ ) in beiden Gruppen hinsichtlich der femoralen und der tibialen Korrekturen der Schnittblöcke nachgewiesen werden (siehe Tabelle 9 und Abbildung 19, 20).

	Pinless (n = 40)	Konventionell (n = 40)	p-Wert*
Anzahl der femoralen Korrekturen			
0	25	39	< 0,001
1	13	1	
2	1	0	
3	1	0	
Anzahl der tibialen Korrekturen			
0	20	40	< 0,001
1	14	0	
2	5	0	
3	1	0	
*statistisch signifikante p-Werte <0.05 sind fett und kursiv dargestellt			

**Tabelle 9:** Tabellarische Darstellung der Anzahl der Korrekturen der femoralen und tibialen Schnittblöcke

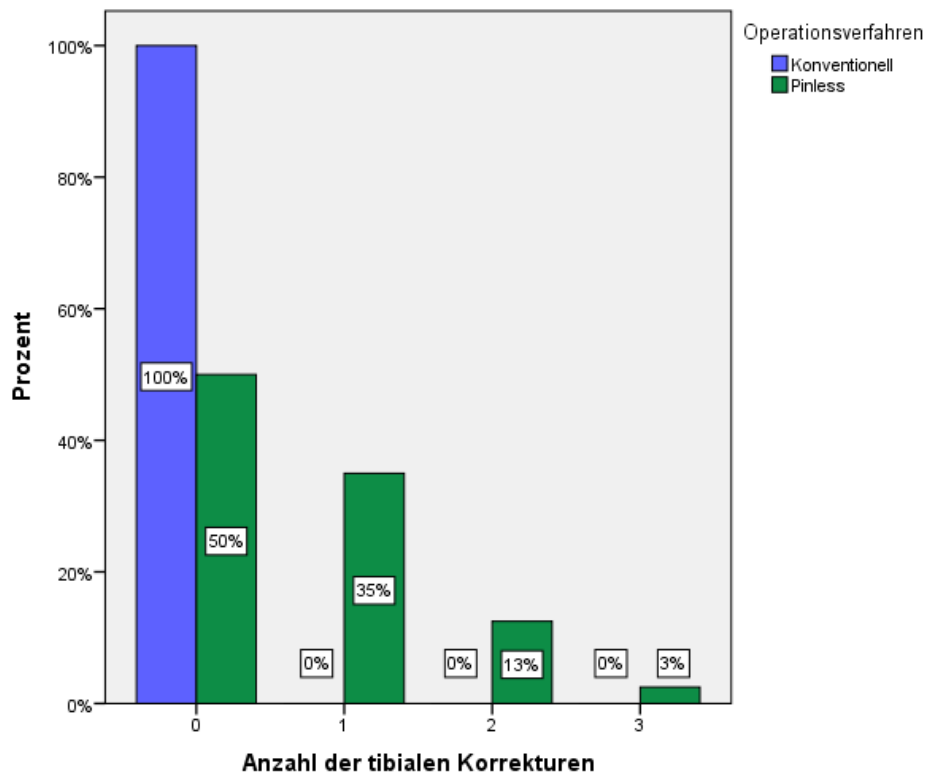
Eine signifikant höhere Anzahl an Korrekturen ist in der Pinless-navigierten Gruppe sowohl für den femoralen Schnittblock ( $p < 0,001$ ) als auch für den tibialen Schnittblock ( $p < 0,001$ ) zu erkennen.

## Ergebnisse



**Abbildung 19:** Prozentuale Verteilung der Korrekturen der femoralen Schnittblöcke

Eine größere Anzahl an Korrekturen ist in der Pinless-navigierten Gruppe (grün) zu erkennen. Dieser Unterschied stellte sich als signifikant heraus ( $p < 0,001$ ).



**Abbildung 20:** Prozentuale Verteilung der Korrekturen der tibialen Schnittblöcke

Es ist zu erkennen, dass bei der Pinless-navigierten Gruppe mehr Korrekturen des tibialen Schnittblock zu verzeichnen waren als in der konventionell-operierten Gruppe. Dieser Unterschied war signifikant ( $p < 0,001$ ).



### 3.6 Operationsdauer

In der Fallgruppe betrug die Operationszeit im Durchschnitt  $75,6 \pm 12,2$  Minuten. Die längste Operation dauerte 106 Minuten, die kürzeste 56 Minuten.

In der Kontrollgruppe ergab sich eine Operationsdauer von durchschnittlich  $64,5 \pm 14,3$  Minuten bei einer Spannbreite von 45 bis 103 Minuten.

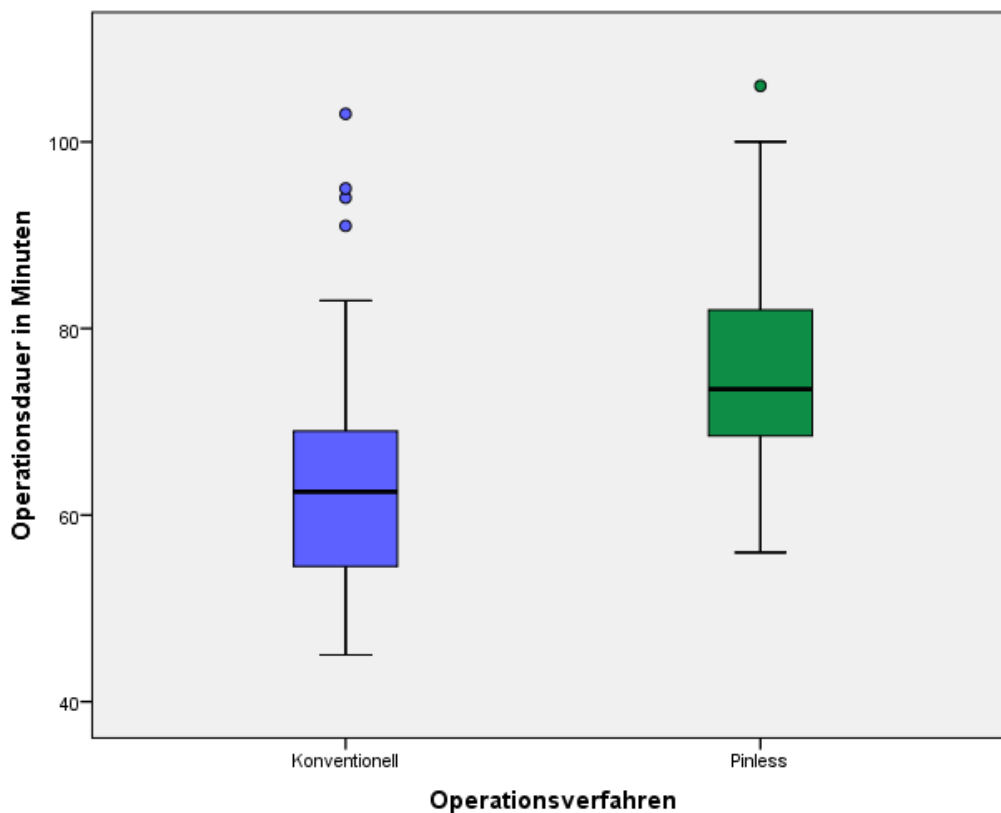
Anhand des t-Tests konnte gezeigt werden, dass ein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen bezüglich der Operationszeit bestand ( $p < 0,001$ ) (siehe Tabelle 10 und Abbildung 21).

	Pinless (n = 40)	Konventionell (n = 40)	p-Wert*
OP Dauer	$75,6 \pm 12,2$ Min.	$64,5 \pm 14,3$ Min.	<b><i>&lt; 0,001</i></b>

*\*statistisch signifikante p-Werte <0.05 sind fett und kursiv dargestellt*

**Tabelle 10:** Tabellarische Darstellung der Operationsdauer der beiden Gruppen

Es ist eine deutlich längere Operationszeit in der Pinless-navigierten Gruppe zu erkennen. Dieser Unterschied erwies sich als signifikant ( $p < 0,001$ ).



**Abbildung 21:** Darstellung der Operationsdauer der beiden Gruppen

Mit Hilfe des Boxplots ist die längere Operationsdauer in der Pinless-navigierten Gruppe zu erkennen. Dieser Unterschied beider Gruppen stellte sich als signifikant heraus ( $p < 0,001$ ).

## 4 Diskussion

Laut Bericht des Instituts für Qualität & Patientensicherheit wurden 2008 in Deutschland 146.052 Patienten mit einer Knie-Totalendoprothese (Erstimplantation) versorgt. Die Implantation von Knie-Totalendoprothesen ist die zweithäufigste Operation im Rahmen der endoprothetischen Versorgung in Deutschland [1]. In Bezug auf die Altersverteilung kann festgestellt werden, dass laut dem o.g. Bericht die meisten Patienten (86,9%) bei der Erstimplantation über 60 Jahre alt sind. Ein früherer Qualitätsbericht des Instituts zeigt, dass 2002 dagegen nur 64.198 Patienten mit einer Knieendoprothese versorgt wurden. Damals waren noch 90,04% der Patienten über 60 Jahre alt [2]. Dieser Vergleich verdeutlicht, dass es in den letzten Jahren zu einem kontinuierlichem Anstieg der Anzahl an Erstimplantation von Knieendoprothesen in Deutschland gekommen ist, wobei anzunehmen ist, dass sich diese Entwicklung weiter fortsetzen wird. Die Patienten sind zum Zeitpunkt der Erstimplantation in der Zwischenzeit auch jünger, sie versprechen sich von der endoprothetischen Versorgung eine anhaltende gute Lebensqualität und erwarten daher einen langfristigen optimalen klinischen Erfolg ihrer Knieendoprothese [52].

Die Zahlen machen deutlich, dass die operative Versorgung mit Knieendoprothesen sowohl aus klinischer, aber auch aus gesamtwirtschaftlicher Sicht in Deutschland in Zukunft eine immer größer werdende Bedeutung erfahren wird [41]. Verschiedene Studien zeigten, dass eine postoperative mechanische Beinachse mit einer Varus-Valgus Abweichung von maximal  $\pm 3^\circ$  eine längere Standzeit der Endoprothese zur Folge hat [13,33]. Daraus ergibt sich, dass heute und in Zukunft großer Wert auf eine möglichst gerade mechanische Beinachse gelegt werden muss.

Die Methode der navigierten Operation nimmt bei der Versorgung mit Knieendoprothesen einen immer größeren Stellenwert ein. Eine Befragung von 194 Kliniken aus dem Jahre 2008 ergab, dass 65% der Kliniken eine navigationsunterstützende Operationstechnik schon damals für sinnvoll erachteten. Bei mehr als einem Drittel der Kliniken war damals bereits eine Zunahme der navigationsunterstützten Operationen zu verzeichnen [11,52]. Diese Veränderung begründet sich auf Studien, die zeigten, dass bei der navigierten Operationsmethode im Gegensatz zur konventionellen Operationsmethode sich postoperativ mehr Beinachsen im Zielbereich befanden [9,17].

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, das postoperative Ergebnis von zwei Operationsmethoden im Rahmen der Implantation von Knie-Totalendoprothesen, zum einen die Operationsmethode mit dem konventionellen mechanischen Ausrichtungsinstrumentarium und zum anderen die Operationsmethode unter Zuhilfenahme eines sogenannten Pinless-Navigation Systems, insbesondere in Bezug auf die postoperative Beinachse und Komponentenplatzierung vergleichend zu untersuchen.

Hauptergebnis unserer Studie ist eine in Bezug auf die postoperative mechanische Beinachse ( $p = 0,025$ ) und die postoperative coronare femorale Prothesenausrichtung ( $p = 0,002$ ) signifikante Reduktion der Ausreißer in der Pinless-navigierten Gruppe im Vergleich zur Gruppe mit konventioneller Operationstechnik.

Die Patienten in beiden Gruppen waren vergleichbar und es zeigten sich präoperativ keine signifikanten Unterschiede bezüglich Geschlecht, Alter, BMI, Operationsseite, mechanische Beinachse und mMPTA (mechanical medial proximal tibial angle). Nur beim mL DFA ergab sich präoperativ ein signifikanter Unterschied. Dieser Unterschied konnte jedoch nicht erklärt werden, denn die Studie wurde randomisiert durchgeführt.

In unserer Studie fanden sich in der Pinless-navigierten Gruppe in Bezug auf die postoperative mechanische Beinachse nur 2 Ausreißer (5%) bei 40 Patienten. Im Gegensatz hierzu zeigten sich in der Gruppe mit konventioneller Operationstechnik 10 Ausreißer (25%) bei ebenfalls 40 Patienten. Als Ausreißer wurden Patienten definiert, bei denen der Winkel außerhalb des Normwertes  $\leq \pm 3^\circ$  lag. Diese Definition gilt für die mechanische Beinachse als auch für die postoperative coronare femorale und tibiale Prothesenausrichtung.

In Bezug auf die postoperative coronare femorale Prothesenausrichtung fanden sich in der Pinless-navigierten Gruppe keine Ausreißer. Bei der konventionellen Operationsmethode zeigten sich jedoch 9 Ausreißer (22,5%) bei 40 Patienten, d.h. die postoperative coronare femorale Prothesenausrichtung lag bei diesen Patienten außerhalb des Zielbereichs von  $\leq \pm 3^\circ$ .

Für die postoperative coronare tibiale Prothesenausrichtung ergaben sich in unserer Studie keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen ( $p = 0,108$ ). Es fanden sich 6 Ausreißer (15%) in der konventionellen Gruppe und 1 Ausreißer (2,5%) in der Gruppe mit Pinless-Navigation von jeweils 40 Patienten.

Unsere Ergebnisse zeigen einen Vorteil der Operation mit Pinless-Navigation gegenüber der konventionellen Operationsmethode hinsichtlich mechanischer Beinachse bzw. femoraler Komponentenplatzierung, wobei die Anzahl der Ausreißer reduziert werden konnte. Das heißt, dass sich bei der Pinless-Navigation die mechanische Beinachse bei mehr Patienten im Zielbereich fand als bei der konventionellen Operationsmethode. Verschiedene frühere Studien zeigten bereits, dass eine gute mechanische Beinachse langfristig auch eine bessere Standzeit der Endoprothese mit sich bringt. Jeffrey et al. analysierten 1991 die Langzeitergebnisse von 119 Knieendoprothesen (12 Jahre nach Erstimplantation). Nur 3% der Patienten mit Knieendoprothese mussten sich einer Folgeoperation unterziehen, wenn die Abweichung der mechanischen Beinachse im Zielbereich  $\pm 3^\circ$  lag. Im Gegensatz dazu mussten 24% der Knieendoprothesen revidiert werden, wenn die Abweichung der mechanischen Beinachse außerhalb des Zielbereiches von  $\pm 3^\circ$  lag [33]. Diese Langzeitbeobachtung verdeutlicht den Stellenwert einer guten postoperativen mechanischen Beinachse nach Implantation der Knieendoprothese. In unsere Studie zeigte sich in der Pinless-Navigation eine Reduktion der Ausreißer bezüglich der postoperativen mechanischen Beinachse im Gegensatz zu der konventionellen Methode.

Der Sitz der femoralen und tibialen Komponente ist ein weiterer entscheidender Faktor in Bezug auf das Langzeitergebnis der Knieendoprothese und der Zufriedenheit der Patienten. So zeigten verschiedene Studien einen Anstieg der Revisionsrate der Knieendoprothese, wenn sich die einzelnen Komponenten postoperativ nicht im Zielbereich befanden [27,36]. Bei varischen oder valgischen implantierten tibialen und femoralen Komponenten treten im Verlauf häufig Schmerzen im Bereich des Kapselapparates auf, was zu einer Beeinträchtigung der Lebensqualität der Patienten führt [49]. In unserer Studie war in der Pinless-navigierten Gruppe kein Ausreißer vorhanden in Bezug auf die postoperative coronare femorale Prothesenausrichtung, also dem Winkel der femoralen Komponenten zur mechanischen femoralen Achse. Es war ebenso nur ein Ausreißer in Bezug auf die postoperative coronare tibialen Prothesenausrichtung, also dem Winkel der tibialen Komponenten zur mechanischen tibialen Achse, zu verzeichnen. Dies bedeutet zusammenfassend, dass die Pinless-navigierte Operation sowohl in Bezug auf die femorale wie auch tibiale Komponente zu deutlich weniger Ausreißer führt und damit dahingehend deutliche Vorteile gegenüber der konventionellen Operationsmethode aufweist.

Die neutrale mechanische Beinachse mit regelrecht positionierten einzelnen Komponenten ist zwar entscheidend für das klinische Langzeitergebnis nach Versorgung mit einer Knieendoprothese, jedoch können weitere klinische Faktoren wie z.B. der BMI den Langzeitverlauf beeinflussen. Es zeigt sich aber auch hier, dass eine gute postoperative mechanische Beinachse auch bei hohem BMI das Langzeitergebnis verbessern kann [54]. Für die Anwendung einer Pinless-Navigation finden sich aber auch gewisse Limitationen. So ist die Methode bei ausgeprägter Adipositas nur schwieriger einsetzbar, da bei diesen Patienten häufig durch die Adipositas bedingt operationstechnische Limitierungen vorliegen, die die praktische Durchführung dieser Operationsmethode einschränken und damit das Operationsergebnis beeinflussen.

Ein weiteres Problem der Pinless-Navigation ist, dass mit einem intramedullären femoralen Ausrichtungsinstrumentarium gearbeitet wird. Die lange Bohrung in den femoralen Knochen kann zu Komplikationen wie u.a. Osteomyelitis führen [43], wobei in unserer Studie es zu keiner derartigen Komplikation kam. Die Komplikation der Osteomyelitis kann jedoch auch bei der konventionellen Methode auftreten, sodass die Möglichkeit dieser Komplikation nicht als alleiniger Nachteil der Pinless-Navigation gewertet werden darf.

Ein weiterer Nachteil der Pinless-navigierten Operationsmethode ist, dass das Operationsverfahren primär nicht die Bandverhältnisse des Knies berücksichtigt. Bei der traditionellen CT-freien Navigation können die Bandverhältnisse vom System erfasst und mitberücksichtigt werden. Bei der konventionellen Operationsmethode werden die Bandverhältnisse in Bezug auf Streck- und Beugespalt vom Operateur klinisch erfasst, was in der Regel bei entsprechender Erfahrung ein gutes klinisches postoperatives Ergebnis der Knieendoprothese ermöglicht. Bei der Pinless-Navigation muss der Operateur ebenfalls klinisch die Bandspannung in Streckung und Beugung ermitteln. Somit ergibt sich hier ein Nachteil der Pinless-navigierte Operationsmethode gegenüber der traditionellen CT-freien Navigation. Da aber auch bei der konventionellen Operationsmethode das Kniegelenk in Bezug auf die Bandverhältnisse ebenfalls nur klinisch untersucht wird, unterscheidet sich die Pinless-navigierte Operationsmethode diesbezüglich nicht von der konventionellen Operationsmethode.

In dieser Studie wurde auch die mittlere Operationszeit der konventionellen Operationsmethode und der Pinless-navigierten Operationsmethode erfasst. Hierbei zeigte sich eine signifikante Verlängerung ( $p < 0,001$ ) der mittleren Operationszeit der Pinless-navigierten Methode ( $75,6 \pm 12,2$  Min.) gegenüber der konventionell operierten Methode ( $64,5 \pm 14,3$  Min.)

Die Befestigung des Pinless-Schneidblockadapters am Schnittblock ist ohne großen Zeitaufwand möglich. In der ansonsten traditionellen CT-freien Navigation werden die notwendigen Referenzmarker durch zusätzliche Bohrungen an der Tibia und am Femur befestigt. Diese zusätzlichen Bohrungen beansprucht deutlich mehr Zeit und kann außerdem zu zusätzlichen Komplikationen (u.a. Frakturen und Osteomyelitis) führen [6,12,14]. Die Pinless-Navigation ist dagegen durch eine Senkung des Infektionsrisikos und der Frakturgefahr gekennzeichnet, da auf eine Bohrung wie bei der konventionellen CT-freien Navigationsmethode verzichtet werden.

Wodurch ist die Verlängerung der Operationszeit aber bei der Pinless-navigierten Methode im Vergleich zur konventionellen Operation zu erklären?

Die Registrierung der einzelnen Landmarken während der Pinless-Operation erfordert einen Zeitaufwand von maximal einer Minute da intraoperativ nur 9 Punkte (Landmarken) in das Navigationssystem aufgenommen werden müssen. Die Verlängerung der Operationszeit in unserem Kollektiv ist daher dadurch nicht erklärbar.

In der Gruppe der Pinless-navigierten Operationsmethode wurde im Vergleich zur Gruppe der konventionellen Methode signifikant häufiger eine Korrektur der Ausrichtung der Schnittblöcke vorgenommen. Bei der Pinless-Navigation wurde wiederholt der korrekte Sitz der einzelnen Schnittblöcke überprüft und bei einer Abweichung von über einem Grad erfolgte eine wiederholte Ausrichtung mit neuerlicher Registrierung der einzelnen Landmarken. Diese erneute Ausrichtung der Schnittblöcke benötigte entsprechend Zeit und führte damit zu einer Verlängerung der Operationszeit. In der Pinless-navigierten Gruppe wurde jeder zweite tibiale Schnittblock einmal korrigiert, während in der konventionellen Gruppe keine Korrekturen erfolgten. Entsprechendes ergab sich auch in Bezug auf die Korrektur des femoralen Schnittblocks.

In der Pinless-navigierten Gruppe gab es im Vergleich zur konventionellen Methode signifikant weniger Ausreißer in Bezug auf die postoperative mechanische Beinachse. Dieses gute radiologische Ergebnis der Pinless-navigierten Gruppe könnte mit der

höheren Anzahl der Korrekturen der einzelnen Komponenten zusammenhängen.

Dies rechtfertigt daher auch die durch die erforderlichen Korrekturen bedingte verlängerte Operationszeit bei der Pinless-navigierten Methode. Mögliche zusätzliche perioperativen Risiken (Thrombosen, Infektionen u.a.), bedingt durch eine längere Operationszeit, sind jedoch zu berücksichtigen.

Chen et al. veröffentlichten 2013 eine unserer Untersuchung vergleichbare Studie mit 200 Patienten. In dieser Studie kam es im Gegensatz zu unserer Studie nicht zu einem signifikanten Anstieg der Operationsdauer in der Pinless-Gruppe. Chen et al. überprüften im Gegensatz zu unserer Studie jedoch intraoperativ nicht die korrekte Ausrichtung der Resektionsflächen, sodass es nicht zu einer intraoperativen Korrektur der Schnittblöcke und folglich hierdurch bedingt auch nicht zu einer Verlängerung der Operationszeit kam. In der Studie von Chen et al. waren die Anzahl der Ausreißer (10% der Patienten) der postoperativen mechanischen Beinachse in der Pinless-Gruppe jedoch deutlich höher als in unserer Studie (5% der Patienten). Ein Grund dafür könnte die fehlende intraoperative Korrektur der Schnittblöcke sein [17].

Die wiederholte Kontrolle der Position der tibialen und femoralen Komponenten bei der Pinless-Navigation hat insbesondere für den noch unerfahrenen Operateur weitere Vorteile. Die Möglichkeit der intraoperativen Erfassung der korrekten Position der Schnittblöcke im Rahmen der Pinless-Navigation erhöht den Lerneffekt für den noch unerfahrenen Operateur, gibt ihm Sicherheit in der korrekten Durchführung der Operation und führt so zu einer Optimierung des Operationsergebnisses. Der Operateur kann schon während der Operation die Ausrichtung der Schnittblöcke in der Pinless-navigierten Operationsmethode kontrollieren. Bei der konventionellen Methode kann der Operateur jedoch sich erst später im Verlauf der Operation oder auch erst nach der Operation anhand des Röntgenbildes ein deutliches Bild von der korrekten Positionierung der einzelnen Komponenten machen.

Intraoperativ können sich bei der Implantation von Knieendoprothesen über die methodischen Probleme der Navigation hinaus weitere Probleme in Bezug auf die Optimierung der postoperativen Beinachse ergeben. So kann das Sägeblatt im Schnittblock von der optimalen Richtung abweichen und dadurch zu fehlerhaften Resektionen führen. Bächli et al. untersuchten daher die Schnittflächen vor und nach der

Resektion. Es zeigte sich hierbei eine Abweichung der eingestellten Schnittflächen von den definitiven Schnittflächen nach der Resektion. Als mögliche Ursache kommen verschiedene Aspekte in Betracht. Entweder resultiert dieser Unterschied der Schnittflächen aus einer inadäquaten Fixierung des Schnittblockes oder er ist durch den Prozess des Sägens selbst verursacht [10]. Mit Hilfe der Pinless-Navigation können zwar nicht die Abweichungen beim Prozess des Sägens behoben werden, die Pinless-Navigation bietet aber die Möglichkeit der ständigen Kontrolle der richtigen Lage der Schnittblöcke und der Resektionsflächen. Die Pinless-Navigation erlaubt daher, diese systemimmanente intraoperative Fehlerquelle bei der Resektion zu minimieren.

Die Erstellung und Auswertung von Röntgenaufnahmen im Rahmen der prä- und postoperativen Diagnostik sind trotz standardisierter Aufnahmetechnik fehlerbelastet. Geringe Abweichungen der Rotations-, Flexions- und Extensionsstellungen des Kniegelenks wirken sich negativ auf die korrekte Darstellung der Winkel und Beinachsen aus [51]. In unserer Studie wurde daher bei der Erstellung der Röntgenaufnahmen besonders darauf geachtet, dass die Extremitäten voll extendiert und richtig rotiert aufgenommen wurden, um so den Fehler bedingt durch die Aufnahmetechnik zu minimieren.

Probleme können auch bei der Auswertung der verschiedenen Röntgenaufnahmen auftreten. So zeigte eine Studie von Coull et al. 1999, dass bei der Auswertung von Röntgenaufnahmen durch zwei verschiedenen Untersuchern signifikante Unterschiede auftreten können. In der Studie wurden 79 Röntgenbilder von Knieendoprothesen von zwei unterschiedlichen Untersuchern ausgewertet. Dabei ergab sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Auswertungen beider Untersucher ( $p < 0,0001$ ) [20]. Die untersucherabhängige Auswertung der Röntgenbilder muss daher immer als Variable in der Studie Berücksichtigung finden und kann die Studienergebnisse beeinflussen. Diese mögliche Fehlerquelle ist jedoch sowohl bei der konventionellen wie auch bei der Pinless-navigierten Gruppe gegeben und kann daher beim Vergleich der beiden Methoden vernachlässigt werden.



## 5 Zusammenfassung

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Operation mittels Pinless-Navigation Vor- und Nachteile gegenüber der konventionellen Schnittblockausrichtung mittels mechanischen Ausrichtinstrumentarien sowie der traditionellen CT-freien Navigation aufweist.

Nachteil der Pinless-Navigation ist, dass bei ihr keine bandspannungsadaptierte Komponentenausrichtung möglich ist im Gegensatz zur traditionellen CT-freien Navigation.

Vorteil der Operation mit Pinless-Navigation ist, dass keine zusätzlichen Bohrungen zum Anbringen der Referenzmarker wie bei der traditionellen CT-freien Navigation erfolgen müssen. Die Gefahr von Infektion bzw. die Frakturgefahr werden hierdurch verringert.

Die Pinless-navigierte Operation ist im Vergleich mit der traditionellen CT-freien Navigation in kürzere Zeit durchführbar. Im Vergleich zur konventionellen Methode ist bei ihr jedoch mit einer längeren Operationsdauer zu rechnen. Die Operationsdauer betrug in unsere Studie bei der konventionellen Operationsmethode  $64,5 \pm 14,3$  Min., bei der Pinless-navigierten Methode  $75,6 \pm 12,2$  Min. Die Verlängerung der Operationszeit ist durch verschiedene Faktoren erklärbar. Wichtigster Faktor hierbei ist die wiederholte intraoperative Korrektur der Schnittblöcke einschließlich der erneuten Registrierung der Landmarken bei der Pinless-navigierten Methode. Vorteilhaft ist, dass diese Korrekturen intraoperativ zeitnah möglich sind und damit das klinische Endergebnis verbessern. Denn wird die postoperative mechanische Beinachse betrachtet, so zeigte sich postoperativ eine signifikant geringere Anzahl an Ausreißer in der Pinless-navigierten Gruppe ( $p = 0,025$ ). In der Pinless-navigierten Gruppe gab es nur 2 Ausreißer von 40 Patienten gegenüber von 10 Ausreißern von 40 Patienten in der konventionellen Gruppe. Eben solche signifikanten Unterschiede ergaben sich auch in Bezug auf die postoperative coronare femorale Prothesenausrichtung ( $p = 0,002$ ). Hier besaß die Pinless-navigierte Gruppe keine Ausreißer diesbezüglich, währenddessen die Gruppe mit dem konventionellen Operationsverfahren 9 Ausreißer (22,5%) von 40 Patienten aufwies.

Es stellt sich abschließend die Frage, ob dieses gute postoperative Ergebnis und der damit zu erwartende positive Effekt in Bezug auf das Langzeitergebnis der Endoprothese

## Zusammenfassung

und die einhergehende verbesserte Lebensqualität des Patienten die gering verlängerte Operationszeit mit den eventuell damit einhergehenden Risiken rechtfertigt. Bisher liegen noch keine Langzeitergebnisse der Pinless-Navigation bei der Knieendoprothetik vor. Dementsprechend sind Langzeitstudien nach Operation mit der Pinless-Navigation daher erforderlich um den Stellenwert dieses Operationsverfahren in Zukunft besser beurteilen zu können.

## **6 Literaturverzeichnis**

1. BQS Bundesauswertung 2008 Knie Totalendoprothesen-Erstimplantation. Vollständigkeit der Bundesdaten (Dokumentationsraten) Vollständigkeit der Krankenhäuser. <http://info.bqs-online.de/outcome/>, aufgerufen am 18.06.2015
2. BQS Bundesauwertung 2002 Knie Totalendoprothesen-Erstimplantation. <http://info.bqs-online.de/outcome/>, aufgerufen am 18.06.2015
3. Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie und des Berufsverbandes der Ärzte für Orthopädie. Gonarthrose. Deutscher Ärzte Verlag, Köln 2002
4. Agneskirchner J, Lobenhoffer P: Endoprothetik des Kniegelenks. Chirurg 2003;74(2):153-161
5. Altmann R, Gold G: Atlas of individual radiographic features in osteoarthritis. Osteoarthritis and Cartilage 2007;15:A1– 56
6. Am Jung K, Lee SC, Ahn NK, Song MB, Nam CH, Shon OJ: Delayed femoral fracture through a tracker pin site after navigated total knee arthroplasty. J Arthroplasty 2011;26(3):505.e9-505.e11
7. Baier C, Maderbacher G, Springorum HR et al.: No difference in accuracy between pinless and conventional computer-assisted surgery in total knee arthroplasty. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2013
8. Bächli H, Perlick L, Luring C, Kalteis T, Grifka J: CT-basierte and CT-freie Navigation in der Knieendoprothetik. Ergebnisse einer prospektive Studie. Unfallchirurg 2003;106(11):935-940
9. Bächli H, Perlick L, Tingart M, Luring C, Zurakowski D, Grifka J: Alignment in total knee arthroplasty. A comparison of computer-assisted surgery with the conventional technique. J Bone Joint Surg Br 2004;86(5):682-687
10. Bächli H, Perlick L, Tingart M, Perlick C, Lüring C, Grifka J: Intraoperative cutting errors in total knee arthroplasty. Arch Orthop Trauma Surg 2005;125(1):16-20
11. Bächli H, Shafizadeh S, Paffrath T, Simanski C, Grifka J, Luring C: Sind navigierte Knieendoprothesen tatsächlich präziser? Eine Metaanalyse vergleichender Studien. Orthopäde 2006;35(10):1056-1065

12. Beldame J, Boisrenoult P, Beaufrils P: Pin track induced fractures around computer-assisted TKA. *Orthop Traumatol Surg Res* 2010;96(3):249-255
13. Bonner TJ, Eardley WG, Patterson P, Gregg PJ: The effect of post-operative mechanical axis alignment on the survival of primary total knee replacements after a follow-up of 15 years. *J Bone Joint Surg Br* 2011;93(9):1217-1222
14. Bonutti P, Dethmers D, Stiehl JB: Femoral shaft fracture resulting from femoral tracker placement in navigated TKA. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 2008;466(6):1499-1502
15. Breitenseher M: Knochen und Gelenke. In: Breitenseher M, Pokieser P, Lechner G (Hrsg): *Lehrbuch der radiologisch-klinischen Diagnostik*. Breitenseher Publisher 2012, 171-179
16. Buckwalter JA, Saltzman C, Brown T: The impact of osteoarthritis: implications for research. *Clin Orthop Relat Res* 2004;(427 Suppl):6-15
17. Chen JY, Chin PL, Tay DKJ, Chia SL, Lo NN, Yeo SJ: Less outliers in pinless navigation compared with conventional surgery in total knee arthroplasty. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2014;22(8):1827-1832
18. Chow JC, Hantes ME, Houle JB, Zalavras CG: Arthroscopic autogenous osteochondral transplantation for treating knee cartilage defects: a 2- to 5-year follow-up study. *Arthroscopy* 2004;20(7):681-690
19. Cooper C, Cushnaghan J, Kirwan JR et al.: Radiographic assessment of the knee joint in osteoarthritis. *Ann Rheum Dis* 1992;51(1):80-82
20. Coull R, Bankes MJ, Rossouw DJ: Evaluation of tibial component angles in 79 consecutive total knee arthroplasties. *The Knee* 1999;6(4):235-237
21. Debrunner AM: Gonarthrose (Kniegelenkarthrose). In: Debrunner AM (Hrsg): *Orthopädie, orthopädische Chirurgie. Patientenorientierte Diagnostik und Therapie des Bewegungsapparates*. Huber 2002, 1068-1074
22. Dekker J, Tola P, Aufdemkampe G, Winckers M: Negative affect, pain and disability in osteoarthritis patients: the mediating role of muscle weakness. *Behav. Res. Ther.* 1993;31(2):203-206
23. Dougados M, Nguyen M, Listrat V, Amor B: High molecular weight sodium hyaluronate (hyalectin) in osteoarthritis of the knee: a 1 year placebo-controlled trial. *Osteoarthritis and Cartilage* 1993;1(2):97-103

24. Edelson R, Burks RT, Bloebaum RD: Short-term effects of knee washout for osteoarthritis. *Am J Sports Med* 1995;23(3):345-349
25. Eike R., König A.: Präoperative Planung der Knieendoprothese. In: Eulert J, Hassenpflug J (Hrsg): *Praxis der Knieendoprothetik*. Springer 2001, 33-43
26. Essex MN, Bhadra P, Sands GH: Efficacy and tolerability of celecoxib versus naproxen in patients with osteoarthritis of the knee: a randomized, double-blind, double-dummy trial. *J Int Med Res* 2012;40(4):1357-1370
27. Estes CS, Schmidt KJ, McLemore R, Spangehl MJ, Clarke HD: Effect of body mass index on limb alignment after total knee arthroplasty. *J Arthroplasty* 2013;28(8 Suppl):101-105
28. Eulert J, Hendrich C: Operative Technik. In: Eulert J, Hassenpflug J (Hrsg): *Praxis der Knieendoprothetik*. Springer 2001, 46-83
29. Fraitzl CR, Flören M, Reichel H: Kniegelenk - Arthrose und Arthritis. *Orthopädie und Unfallchirurgie up2date* 2008;3(3):155-176
30. Günther KP, Puhl W, Brenner H, Stürmer T: Klinische Epidemiologie von Hüft- und Kniegelenkarthrosen. *Z. Rheumatol.* 2002;61(3):244-249
31. Hochberg MC, Altman RD, Brandt KD et al.: Guidelines for the medical management of osteoarthritis. Part II. Osteoarthritis of the knee. American College of Rheumatology. *Arthritis Rheum* 1995;38(11):1541-1546
32. Jackson RW, Dieterichs C: The results of arthroscopic lavage and debridement of osteoarthritic knees based on the severity of degeneration. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery* 2003;19(1):13-20
33. Jeffery RS, Morris RW, Denham RA: Coronal alignment after total knee replacement. *J Bone Joint Surg Br* 1991;73(5):709-714
34. Jerosch J, Attmanspacher W (Hrsg): *Standardoperationen in Orthopädie und Unfallchirurgie*. Steinkopff-Verlag 2000
35. Kellgren JH, Lawrence JS: Radiological assessment of osteo-arthritis. *Ann Rheum Dis* 1957;16(4):494-502
36. Kim Y, Park J, Kim J, Park S: The relationship between the survival of total knee arthroplasty and postoperative coronal, sagittal and rotational alignment of knee prosthesis. *Int Orthop* 2014;38(2):379-385

37. Kirschner S, Lützner J: Primäre Endoprothetik am Kniegelenk. Orthopädie und Unfallchirurgie up2date 2008;3(3):177-194
38. Kladny B: Physikalische Therapie der Arthrose. Z. Rheumatol. 2005;64(7):448-455
39. Kohn D, Adam F (Hrsg): Das Knie. Thieme 2000
40. Lippert H (Hrsg): Lehrbuch Anatomie. Elsevier Urban & Fischer 2006
41. Lotke PA, Ecker ML: Influence of positioning of prosthesis in total knee replacement. J Bone Joint Surg Am 1977;59(1):77-79
42. Lüring C, Baumann P, Behrend H, Bähis H, Harder L, Grifka J: Erkrankungen und Verletzungen von Kniegelenk und Unterschenkel. In: Grifka J, Kuster M (Hrsg): Orthopädie und Unfallchirurgie. Springer 2011, 760-829
43. Mader JT, Shirliff M, Calhoun JH: Staging and staging application in osteomyelitis. Clin Infect Dis 1997;25(6):1303-1309
44. Maderbacher G, Schaumburger J, Keshmiri A et al.: Pinless navigation in total knee arthroplasty: Navigation reduced by the maximum? Int Orthop 2015;39(3):455-460
45. Marcacci M, Kon E, Delcogliano M, Filardo G, Busacca M, Zaffagnini S: Arthroscopic autologous osteochondral grafting for cartilage defects of the knee: prospective study results at a minimum 7-year follow-up. Am J Sports Med 2007;35(12):2014-2021
46. Paley D, Pfeil J: Prinzipien der kniegelenknahen Deformitätenkorrektur. Orthopäde 2000;29(1):18-38
47. Pape D, Lorbach O, Steimer O: Analyse der Deformität und präoperative Planung einer knienahen Osteotomie. Arthroskopie 2007;20(4):277-290
48. Paulsen F, Jens W (Hrsg): Allgemeine Anatomie und Bewegungsapparat. Sobotta. Urban & Fischer Verlag 2010
49. Pietsch M, Hofmann S: Intra- und postoperative Komplikationen. In: Wirtz DC (Hrsg): AE-Manual der Endoprothetik. Knie. Springer 2011, 195-211
50. Puhl W, Bernau A, Böhle E et al.: Ambulante Diagnostik und Therapie der Gonarthrose. Z Orthop 2000;138(1):85-93
51. Radtke K, Becher C, Noll Y, Ostermeier S: Effect of limb rotation on radiographic alignment in total knee arthroplasties. Arch Orthop Trauma Surg 2010;130(4):451-457
52. Rath B, Springorum HR, Beckmann J et al.: Aktueller Stellenwert der Navigation in der

Knieendoprothetik in orthopädischen und unfallchirurgischen Kliniken in Deutschland.  
Z Orthop Unfall 2011;149(02):173-177

53. Reichel H.: Arthrose. In: Kohn D, Adam F (Hrsg): Das Knie. Thieme 2000, 221-277
54. Ritter MA, Davis KE, Meding JB, Pierson JL, Berend ME, Malinzak RA: The effect of alignment and BMI on failure of total knee replacement. J Bone Joint Surg Am 2011;93(17):1588-1596
55. Röhring H: Operation der Kniegelenksendoprothetik. In: Wirtz DC (Hrsg): AE-Manual der Endoprothetik. Knie. Springer 2011, 127-141
56. Rosenberger RE, Hoser C, Quirbach S, Attal R, Hennerbichler A, Fink C: Improved accuracy of component alignment with the implementation of image-free navigation in total knee arthroplasty. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2008;16(3):249-257
57. Rupp S: Umstellungsosteotomie. In: Kohn D, Adam F (Hrsg): Knie. Thieme 2005, 379-405
58. Scharf HP: Arthrose. Allgemeines. In: Kohn D, Adam F (Hrsg): Knie. Thieme 2005, 360-364
59. Schiebeler TH, Korf H (Hrsg): Anatomie. Histologie, Entwicklungsgeschichte, makroskopische und mikroskopische Anatomie, Topographie ;. Steinkopff 2007
60. Shin CS, Lee JH: Arthroscopic Treatment for Osteoarthritic Knee. Knee Surg Relat Res 2012;24(4):187-192
61. Springorum HW, Braun K, Tauscher A (Hrsg): Knie. Ecomed 1999
62. Stuart MJ, Lubowitz JH: What, if Any, Are the Indications for Arthroscopic Debridement of the Osteoarthritic Knee? The Journal of Arthroscopic & Related Surgery 2006;22(3):238-239
63. Sun Y, Stürmer T, Günther K, Brenner H: Inzidenz und Prävalenz der Cox- und Gonarthrose in der Allgemeinbevölkerung. Z Orthop Unfall 1997;135(03):184-192
64. Wirth CJ (Hrsg): Praxis der Orthopädie. Operative Orthopädie. Thieme 2001

## 7 Anhang

### 7.1 Abkürzungsverzeichnis

AMA	Winkel zwischen mechanischer und anatomischer Femurachse
a.p. Aufnahme	anterior-posteriore Aufnahme
BMI	Bodymassindex (in kg/m <sup>2</sup> )
CCD Winkel	Centrum-Collum-Diaphysenwinkel
CT	Computertomographie
DMS Kontrolle	Durchblutung-Motorik-Sensibilität Kontrolle
Et al.	und andere
FSA-mTA	Winkel zwischen Femurschaftachse und mechanischer Tibiaachse
JLCA	Gelenklinien- Konversionswinkel
KBL	Kniebasislinie
MAD	mittlere Achsenabweichung
mFA-mTA	Winkel zwischen den mechanischen Achsen von Femur und Tibia
mLDFA	mechanischer distaler Femurwinkel
mLDTA	mechanischer lateraler distaler Tibiawinkel
mLPFA	mechanischer lateraler proximaler Femurwinkel
mMPTA	mechanischer medialer proximaler Tibiawinkel
NSAR	nichtsteroidale Antirheumatika
SYSADOA	Symptomatic Slow Acting Drugs in Osteoarthritis
TL trifft KBL	prozentuale Abweichung zwischen Traglinie und Kniebasislinie



## 7.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Darstellung der Beinachsen in einer schematischen Zeichnung eines Beines.....	4
Abbildung 2:	Röntgenaufnahme einer Gonarthrose .....	9
Abbildung 3:	Präoperative Darstellung und Planung der Beinachsenkorrektur mit Hilfe des Programmes mediCAD®.....	23
Abbildung 4:	Postoperative radiologische Darstellung der Beinachsen mit Hilfe des Programmes mediCAD®.....	24
Abbildung 5:	Pinless-navigierte Operation aus der Zeitschrift SICOT.....	27
Abbildung 6:	Darstellung der Geschlechterverteilung.....	30
Abbildung 7:	Darstellung der Verteilung des Patientenalters zum Zeitpunkt der Operation .....	31
Abbildung 8:	Verteilung des BMIs.....	32
Abbildung 9:	Darstellung des Verhältnisses der Operationsseite.....	33
Abbildung 10:	Darstellung der präoperativen Beinachsenabweichung.....	36
Abbildung 11:	Prozentuale Verteilung der Ausreißer der postoperativen mechanischen Beinachsen .....	38
Abbildung 12:	Vergleich der postoperativen mechanischen Beinachsenabweichung.....	38
Abbildung 13:	Darstellung der Verteilung des präoperativen mLDFA.....	40
Abbildung 14:	Prozentuale Verteilung der Ausreißer der postoperativen coronaren femoralen Prothesenausrichtung.....	42
Abbildung 15:	prozentuale Verteilung des postoperativen coronaren femoralen Winkels.....	42
Abbildung 16:	Darstellung des präoperativen mMPTA.....	44
Abbildung 17:	Prozentuale Verteilung der Ausreißer der postoperativen coronaren tibialen Prothesenausrichtung.....	46
Abbildung 18:	Prozentuale Verteilung der postoperativen coronaren tibialen Prothesenausrichtung .....	46
Abbildung 19:	Prozentuale Verteilung der Korrekturen der femoralen Schnittblöcke.....	48
Abbildung 20:	Prozentuale Verteilung der Korrekturen der tibialen Schnittblöcke..	48
Abbildung 21:	Darstellung der Operationsdauer der beiden Gruppen.....	49

### 7.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Einteilung der Gonarthrose nach Kellgren und Lawrance .....	8
Tabelle 2:	Tabellarischer Vergleich der präoperativen Patientendaten.....	34
Tabelle 3:	Tabellarische Darstellung der präoperativen Beinachse.....	35
Tabelle 4:	Tabellarische Darstellung der postoperativen Daten zur mechanischen Beinachse.....	37
Tabelle 5:	Tabellarische Darstellung des präoperativen mLDFA.....	40
Tabelle 6:	Tabellarische Darstellung der postoperativen coronaren femoralen Prothesenausrichtung.....	41
Tabelle 7:	Tabellarische Darstellung des präoperativen mMPTA.....	44
Tabelle 8:	Tabellarische Darstellung der postoperativen coronaren tibialen Prothesenausrichtung.....	45
Tabelle 9:	Tabellarische Darstellung der Anzahl der Korrekturen der femoralen und tibialen Schnittblöcken.....	47
Tabelle 10:	Tabellarische Darstellung der Operationsdauer der beiden Gruppen .....	49

## **Anhang**

Teile dieser Promotionsarbeit wurden in der Zwischenzeit bereits publiziert:

Günther Maderbacher, Jens Schaumburger, Armin Keshmiri, Magdalena Barthel, Hans-Robert Springorum, Benjamin Craiovan, Joachim Grifka, Clemens Baier: Pinless navigation in total knee arthroplasty: Navigation reduced by the maximum?" in International Orthopaedics (SICOT) Volumen 39, Issue 3, March 2015, Pages 455-460

Die Bilder der Abbildung 5 meiner Promotionsarbeit wurden der o.g. Publikation entnommen. Als Co-Autorin dieser Publikation hat der SICOT Verlag mir die Rechte dieser Bilder für die Veröffentlichung in meiner Promotionsarbeit gegeben.

Die sonstigen Bilder meiner Promotionsarbeit sind anonymisierte Röntgenbilder der orthopädischen Abteilung Asklepios Klinikum Bad Abbach bzw. selbsterstellte Skizze (Abbildung 1).

## **Danksagung**

Ich bedanke mich bei allen, die mich bei der Erstellung dieser Arbeit begleitet und unterstützt haben.

Mein besonderer Dank geht an Herrn Prof. Dr. Dr. J. Grifka für die Möglichkeit, diese Promotionsarbeit in der orthopädischen Abteilung Asklepios Klinikum Bad Abbach erstellen zu können.

Mein ganz herzlicher Dank geht an meinen Betreuer Herrn Dr. G. Maderbacher, dessen wertvolle fachliche Unterstützung mir eine große Hilfe war. Er war immer für mich ansprechbar und war zur Beantwortung verschiedenster Fragen stets gerne bereit.

Des Weiteren bedanke ich mich bei allen Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen der orthopädischen Abteilung des Asklepios Klinikums Bad Abbach für die gute Zusammenarbeiten und Kooperation.

Mein besonders herzlicher Dank gilt meiner Familie. Der Dank geht vor allem an meine Eltern, die mir mein Studium der Medizin und damit auch diese Promotionsarbeit ermöglichten und mich persönlich immer unterstützten. Vielen Dank.